

3/2026

ПОЛИТРАВМА/ POLYTRAUMA

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой
по надзору в сфере
связи, информационных
технологий и массовых
коммуникаций (Роскомнадзор).
Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-71530
от 01 ноября 2017 г.

Учредитель:
Благотворительный Фонд
центра охраны здоровья
шахтеров

Журнал реферируется
РЖ ВИНТИ

Индексация:
РИНЦ
SCOPUS
Ulrich's International
Periodicals Directory

Адрес редакции:
652509,
Кемеровская область —
Кузбасс, г. Ленинск – Кузнецкий,
ул. Лесной городок, д. 52/2
E-mail: mail@poly-trauma.ru

WEB:
<http://poly-trauma.ru>

Периодичность выхода:
4 раза в год

**Распространяется
по подписке**
Подписной индекс:
ПН339 в каталоге
«Почта России»

Адрес издателя:
Благотворительный Фонд центра
охраны здоровья шахтеров,
652509, Кемеровская область —
Кузбасс, г. Ленинск-Кузнецкий,
ул. Лесной городок, д. 52/2

Подготовка к печати:
ИД «Медицина
и Просвещение»
650066, г. Кемерово,
пр. Октябрьский, 22
www.mednauki.ru

Шеф-редактор:
А. А. Коваленко

Редактор:
Н. С. Черных

Макетирование:
И. А. Коваленко

Отв. редактор:
А. В. Лазурин

Перевод:
Д. А. Шавлов

Подписано в печать:
29.09.2026
Дата выхода в свет:
30.09.2026

Тираж: 1000 экз.
Цена свободная

Отпечатано в типографии
ООО «Векторпринт»,
650004, г. Кемерово,
ул. Стахановская 1-я,
дом 39-А, оф. 21

Журнал основан в 2006 году профессор Агаджанян В.В.

Редакционная коллегия

Главный редактор

Зам. главного редактора

д.м.н., профессор
д.б.н., профессор
д.м.н.
к.м.н.

В. В. Агаджанян
И. М. Устьянцева
А. Х. Агаларян
А. А. Корыткин

Новосибирск
Кемерово
Кемерово
Новосибирск

Научные редакторы

д.м.н., профессор, чл.-кор. РАН
д.м.н., профессор
д.м.н., профессор
д.м.н., профессор
д.м.н., профессор
д.м.н., профессор
д.м.н.
д.м.н.
д.м.н.
д.м.н.
д.м.н.
д.м.н.
д.м.н., профессор

Н. В. Загородний
К. А. Егиазарян
А. А. Завражнов
В. В. Хоминец
И. Н. Лейдерман
И. Ф. Ахтямов
А. О. Гирш
М. М. Стуканов
С. А. Кравцов
А. Ю. Милюков
А. В. Новокшенов
А. А. Пронских
О. И. Хохлова
Д. Г. Данцигер

Москва
Москва
Санкт-Петербург
Санкт-Петербург
Санкт-Петербург
Казань
Омск
Омск
Ленинск-Кузнецкий
Ленинск-Кузнецкий
Ленинск-Кузнецкий
Кемерово
Новокузнецк
Новокузнецк

Редакционный совет

д.м.н., профессор, академик РАН
д.м.н., профессор, академик РАН
д.м.н.
д.м.н.
д.м.н., профессор
д.м.н., профессор, чл.-кор. РАН
д.м.н., профессор
д.м.н., профессор
д.м.н., профессор
д.м.н., профессор
д.м.н., профессор, академик РАН
д.м.н., профессор
д.б.н.
д.м.н.
д.м.н., профессор
д.м.н., профессор
д.м.н., профессор, чл.-кор. РАН
д.м.н., профессор
д.м.н., профессор
д.м.н., профессор
д.м.н., профессор, чл.-кор. РАН
д.м.н., профессор
MD, PhD
MD
MD
MD
MD
MD
MD, FRCS, FACS
MD, PhD

С. С. Петриков
С. Ф. Гончаров
А. И. Ярошецкий
Л. К. Брижань
Р. М. Тихилов
С. В. Виссарионов
И. М. Самохвалов
Е. К. Гуманенко
А. К. Дулаев
В. В. Ступак
В. А. Козлов
С. Г. Штофин
А. Н. Силков
С. Л. Кан
А. В. Бондаренко
В. А. Пелеганчук
Е. Г. Григорьев
К. А. Апарцин
В. А. Сорокиных
И. А. Норкин
В. И. Шевцов
М. Ю. Каримов
Г. К. Папе
Р. Пфайфер
А. Бляхер
Р. Ф. Видман
Д. Л. Хелфет
Р. М. Хайндс
Н. Вольфсон
А. Лернер

Москва
Москва
Москва
Москва
Санкт-Петербург
Санкт-Петербург
Санкт-Петербург
Санкт-Петербург
Санкт-Петербург
Новосибирск
Новосибирск
Новосибирск
Кемерово
Барнаул
Барнаул
Иркутск
Иркутск
Иркутск
Саратов
Курган
Ташкент, Узбекистан
Цюрих, Швейцария
Цюрих, Швейцария
Нью-Йорк, США
Нью-Йорк, США
Нью-Йорк, США
Нью-Йорк, США
Сан-Франциско, США
Зефат, Израиль

Решением ВАК Министерства образования и науки РФ журнал «Политравма» включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук»

[СОДЕРЖАНИЕ]

6 ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ТЯЖЕСТИ РЕПЕРфуЗИОННОГО СИНДРОМА НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА МЕТАБОЛИЧЕСКОГО ГАШЕНИЯ У ПАЦИЕНТОВ С ОГНЕСТРЕЛЬНОЙ ТРАВМОЙ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ АРТЕРИЙ
Казанцев А.Н., Плищук Р.И., Сюсюра В.А., Погорелов М.Ю., Ионов М.М., Солдатов П.А., Магомедов М.М., Карпов П.П., Ильясов М.А.

24 АНЕСТЕЗИОЛОГИЯ И РЕАНИМАТОЛОГИЯ

ОСОБЕННОСТИ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ У ЛИЦ ПОЖИЛОГО И СТАРЧЕСКОГО ВОЗРАСТА НА ФОНЕ ХРОНИЧЕСКОГО ВЕРТЕБРОГЕННОГО БОЛЕВОГО СИНДРОМА
Иванова А.А., Кузьмина Е.Е.

31 КЛИНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ХИРУРГИИ

АССОЦИИРОВАННОСТИ ОСЛОЖНЕНИЙ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ МИКРОБИОТЫ С ИСХОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ ДИСБИОЗА У ПАЦИЕНТОВ ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ КОЛОСТОМОЙ ПОСЛЕ ПЕЛЬВИОАБДОМИНАЛЬНЫХ РАНЕНИЙ ПЕРЕД ВЫПОЛНЕНИЕМ РЕКОНСТРУКТИВНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ОПЕРАЦИИ
Еселевич Р.В., Балюра О.В., Гирш А.О., Маркевич В.Ю., Степанов С.С., Мельникова Е.В., Монгуш С.М.О., Левковский С.С., Суров Д.А.

42 КЛИНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НЕЙРОХИРУРГИИ

НЕЙРООРТОПЕДИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ХИРУРГИИ БОЕВЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОБЩЕГО МАЛОБЕРЦОВОГО НЕРВА
Исенгалиев И.Н., Гизатуллин Ш.Х., Гайворонский А.И., Киселева А.Ю., Петренко Е.А., Приймак М.А.

55 КЛИНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ

БЕДРЕННО-БОЛЬШЕБЕРЦОВОЕ СИНОСТОЗИРОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ ПЕРИПРОТЕЗНОЙ ИНФЕКЦИИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОПЕРАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ИНТРАМЕДУЛЛЯРНОЙ И ВНЕШНЕЙ ФИКСАЦИИ
Бугаев Г.А., Виноградский А.Е., Борзунов Д.Ю.

63 ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ, ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ, ЛАБОРАТОРНАЯ ДИАГНОСТИКА

ВЗАИМОСВЯЗЬ СИСТЕМЫ ГЕМОСТАЗА И ГИПОПРОТЕИНЕМИИ У ПАЦИЕНТОВ С ТЯЖЕЛОЙ СОЧЕТАННОЙ ТРАВМОЙ
Мухамеджанов И.Р., Коробко Ю.А., Носов А.М., Демченко К.Н., Струков Е.Ю., Тимофеев К.Р., Егорова Е.Н.

70 СЛУЧАЙ ИЗ ПРАКТИКИ

СЛУЧАЙ УСПЕШНОГО МНОГООЭТАПНОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТА С ТЯЖЕЛОЙ СОЧЕТАННОЙ ТРАВМОЙ, АССОЦИИРОВАННОЙ С ГЕМОМРАГИЧЕСКИМ ШОКОМ И ГЛУБОКОЙ ГИПОТЕРМИЕЙ
Мурзин Д.А., Игнатович И.М., Стец В.В., Онницев И.Е., Костюченко О.М., Остряков Н.Г.

77 ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ В ПОДВИЖНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ГРУППЕ АЭРОМОБИЛЬНОГО ОТРЯДА ПРИ СОЧЕТАННОЙ БОЕВОЙ ТРАВМЕ

Казанцев А.Н., Фатеев С.С., Бушланов П.С., Алексеев О.В., Эмбрехт Д.Ю.

92 РЕАБИЛИТАЦИЯ

РЕЗУЛЬТАТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В РЕАБИЛИТАЦИИ ИНВАЛИДА С ТЕТРАПЛЕГИЕЙ: КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ
Коновалова Н.Г., Хохлова О.И., Васильченко Е.М.

98 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРНО-ВЗРЫВНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА И НЕЙРОВОСПАЛИТЕЛЬНЫЕ МАРКЕРЫ ДЛЯ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОЙ ЭНЦЕФАЛОПАТИИ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
Ал Лабед А., Ереско С.О., Воейков А.И., Айрапетов М.И., Шабанов П.Д.

108 ОБЗОРЫ

ГЕМОСТАТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И КОЛЛАГЕНА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ХИРУРГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ
Пьяных А.А., Иванов И.С., Обьедков Е.Г., Липатов В.А., Обьедкова Н.Ю., Клименко А.Е.

118 ПОСТТРАВМАТИЧЕСКИЕ ИНФЕКЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ: РАЗЛИЧИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ И ЛЕЧЕБНЫХ ПОДХОДОВ В СРАВНЕНИИ С ПЕРВИЧНЫМИ И ВТОРИЧНЫМИ НЕТРАВМАТИЧЕСКИМИ НЕЙРОИНФЕКЦИЯМИ

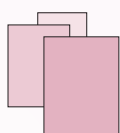
Кан С.Л., Устьянцева И.М., Шеметов А.В., Хохлова З.А.

130 РЕФЕРАТЫ ПУБЛИКАЦИЙ

136 БИБЛИОГРАФИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ ПОЛИТРАВМЫ

139 ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

144 ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ РЕКЛАМОДАТЕЛЕЙ



3/2026

ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA

The journal is registered
in the Federal Service
for Control of Communication,
Information Technologies
and Mass Communications.
The certificate of registration
PI # FS77-71530,
November, 01, 2017

Institutor:
Charity fund of the Federal
Scientific Clinical Center
of the Miners Health Protection

Indexation:
Russian Science Citation Index (RSCI),
SCOPUS,
Ulrich's International Periodicals
Directory

Editorial staff's address:
Lesnoy Gorodok St., 52/2,
Leninsk-Kuznetsky,
Kemerovo region – Kuzbass,
Russian Federation,
652509
E-mail: mail@poly-trauma.ru

WEB:
<http://poly-trauma.ru>

Publisher's address:
The Charity Fund of Clinical Center
of Miners' Health Protection,
Lesnoy Gorodok St., 52/2,
Leninsk-Kuznetsky, Kemerovo
region – Kuzbass, Russia, 652509

Publication frequency:
4 times a year

Subscription:
Open Access for all users on website
Print version is available
via "Russian Post" service
with index **ПН339**

Prepress:
"Medicine and Enlightenment"
Publishing House
Oktyabrsky prospect, 22,
Kemerovo, 650066,
www.mednauki.ru

Editor-in-Chief:
Kovalenko A. A.

Editor: Chernykh N. S.

Imposition planning:
Kovalenko I. A.

Executive editor:
Lazurina A. V.

Translating:
Shavlov D. A.

Passed for printing 29.09.2026
Date of publishing: 30.09.2026

Circulation: 1000 exemplars
Free price

Printed in the letterpress plant
closed corporation "Vectorprint",
Stakhanovskaya St., 39A, 21,
Kemerovo, Russia, 650004

Chief editor MD, PhD, professor
Deputy chief editor PhD in Biology, professor
MD, PhD
MD

MD, PhD, professor, corresponding member of RAS
MD, PhD, professor
MD, PhD, professor
MD, PhD, professor
MD, PhD, professor
MD, PhD, professor
MD, PhD, professor
MD, PhD
MD, PhD
MD, PhD
MD, PhD
MD, PhD
MD, PhD
MD, PhD, professor

MD, PhD, professor, academician of RAS
MD, PhD, professor, academician of RAS
MD, PhD
MD, PhD
MD, PhD, professor
MD, PhD, professor, corresponding member of RAS
MD, PhD, professor
MD, PhD, professor
MD, PhD, professor
MD, PhD, professor
MD, PhD, professor, academician of RAS
MD, PhD, professor
PhD in Biology
MD, PhD
MD, PhD, professor
MD, PhD, professor
MD, PhD, professor, corresponding member of RAS
MD, PhD, professor
MD, PhD, professor
MD, PhD, professor
MD, PhD, professor, corresponding member of RAS
MD, PhD, professor
MD, PhD
MD
MD
MD
MD
MD
MD, FRCS, FACS
MD, PhD

Editorial staff

Agadzhanian V. V.
Ustyantseva I. M.
Agalaryan A. Kh.
Korytkin A. A.

Novosibirsk
Kemerovo
Kemerovo
Novosibirsk

Science editors

Zagorodniy N. V.
Egiazaryan K. A.
Zavrazhnov A. A.
Khominets V. V.
Leyderman I. N.
Akhtyamov I. F.
Girsh A. O.
Stukanov M. M.
Kravtsov S. A.
Milyukov A. Yu.
Novokshonov A. V.
Pronskikh A. A.
Khokhlova O. I.
Dantsiger D. G.

Moscow
Moscow
Saint Petersburg
Saint Petersburg
Saint Petersburg
Kazan
Omsk
Omsk
Leninsk-Kuznetsky
Leninsk-Kuznetsky
Leninsk-Kuznetsky
Kemerovo
Novokuznetsk
Novokuznetsk

Editorial board

Petrikov S. S.
Goncharov S. F.
Yaroshetskiy A. I.
Brizhan L. K.
Tikhilov R. M.
Vissarionov S. V.
Samokhvalov I. M.
Gumanenko E. K.
Dulaev A. K.
Stupak V. V.
Kozlov A. V.
Shtofin S. G.
Silkov A.N.
Kan S. L.
Bondarenko A. V.
Peleganchuk V. A.
Grigoryev E. G.
Apartsin K. A.
Sorokovikov V. A.
Norkin I. A.
Shevtsov V. I.
Karimov M. Yu.
Pape H. C.
Pfeifer R.
Blyakher A.
Widmann R. F.
Helfet D. L.
Hinds R. M.
Wolfson N.
Lerner A.

Moscow
Moscow
Moscow
Moscow
Saint Petersburg
Saint Petersburg
Saint Petersburg
Saint Petersburg
Saint Petersburg
Novosibirsk
Novosibirsk
Novosibirsk
Kemerovo
Barnaul
Barnaul
Irkutsk
Irkutsk
Irkutsk
Saratov
Kurgan
Tashkent, Uzbekistan
Zurich Switzerland
Zurich Switzerland
New-York, USA
New-York, USA
New-York, USA
New-York, USA
San Francisco, USA
Zefat, Israel

According to the decision by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation the journal Polytrauma has been included into "The List of reviewed scientific publications, which should publish main scientific results of dissertations for candidate of sciences and PhD in medicine"

[CONTENTS]

6 ORIGINAL RESEARCHES

QUANTITATIVE CLASSIFICATION OF REPERFUSION SYNDROME SEVERITY BASED ON THE METABOLIC QUENCHING EFFECT IN PATIENTS WITH GUNSHOT INJURY TO PERIPHERAL ARTERIES

Kazantsev A.N., Pishchuk R.I., Syusyura V.A., Pogorelov M.Yu., Ionov M.M., Soldatov P.A., Magomedov M.M., Karpov P.P., Ilyasov M.A.

24 ANESTHESIOLOGY AND CRITICAL CARE MEDICINE

FEATURES OF AUTONOMIC REGULATION OF THE CIRCULATORY SYSTEM IN ELDERLY AND SENILE PATIENTS WITH CHRONIC VERTEBROGENIC PAIN SYNDROME

Ivanova A.A., Kuzminova E.E.

31 CLINICAL ASPECTS OF SURGERY

ASSOCIATIONS OF COMPLICATIONS AND MICROBIOTA INDICES WITH THE INITIAL DEGREE OF DYSBIOSIS IN PATIENTS WITH A FUNCTIONING COLOSTOMY AFTER PELVIC ABDOMINAL WOUNDS BEFORE RECONSTRUCTIVE SURGERY

Eselevich R.V., Balyura O.V., Girsh A.O., Markevich V.Yu., Stepanov S.S., Melnikova E.V., Mongush S.M., Levkovsky S.S., Surov D.A.

42 CLINICAL ASPECTS OF NEURO-SURGERY

THE NEURO-ORTHOPAEDIC APPROACH TO SURGERY FOR COMBAT INJURIES TO THE COMMON PERONEAL

Isengaliev I.N., Gizatullin Sh.Kh., Gaivoronsky A.I., Kiseleva A.Yu., Petrenko E.A., Priymak M.A.

55 CLINICAL ASPECTS OF TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS

FEMOROTIBIAL SYNOSTOSIS IN PERIPROSTHETIC JOINT INFECTION: COMPARATIVE ANALYSIS OF OPERATIVE PARAMETERS USING INTRAMEDULLARY NAIL AND EXTERNAL FIXATION

Bugaev G.A., Vinogradsky A.E., Borzunov D.Yu.

63 FUNCTIONAL, INSTRUMENTAL AND LABORATORY DIAGNOSTICS

INTERRELATION OF THE HEMOSTASIS SYSTEM AND HYPOPROTEINEMIA IN PATIENTS WITH SEVERE CONCOMITANT INJURIES

Mukhamedzhanov I.R., Korobko Yu.A., Nosov A.M., Demchenko K.N., Strukov E.Yu., Timofeev K.R., Egorova E.N.

70 CASE HISTORY

A CASE OF SUCCESSFUL MULTISTAGE TREATMENT OF A PATIENT WITH SEVERE CONCOMITANT INJURY ASSOCIATED WITH HEMORRHAGIC SHOCK AND PROFOUND HYPOTHERMIA

Murzin D.A., Ignatovich I.M., Stets V.V., Onnitsev I.E., Kostyuchenko O.M., Ostryakov N.G.

77 SURGICAL TREATMENT IN THE MOBILE MEDICAL GROUP OF AN AIRMOBILE UNIT FOR COMBINED COMBAT TRAUMA: LIVER WOUND SUTURE, BRACHIAL ARTERY PROSTHETIC REPAIR, AND PERCUTANEOUS OSTEOSYNTHESIS OF FOREARM AND HAND BONESE

Kazantsev A.N., Fateev S.S., Bushlanov P.S., Alekseev O.V., Embrecht D.Yu.

92 REHABILITATION

THE RESULT OF USING VIRTUAL REALITY TECHNOLOGY IN REHABILITATION OF A PERSON WITH TETRAPLEGIA: A CLINICAL CASE

Konvalova N.G., Khokhlova O.I., Vasilchenko E.M.

98 EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS

MODELING OF BLAST-INDUCED BRAIN INJURY AND NEUROINFLAMMATORY MARKERS FOR THE EARLY DIAGNOSIS OF POST-TRAUMATIC ENCEPHALOPATHY: AN EXPERIMENTAL STUDY

Ал Лабед А., Ереско С.О., Воейков А.И., Айрапетов М.И., Шабанов П.Д.

108 REVIEWS

HEMOSTATIC MATERIALS BASED ON CHITOSAN AND COLLAGEN USED IN SURGICAL PRACTICE

Pyanyh A.A., Ivanov I.S., Obyedkov E.G., Lipatov V.A., Obyedkova N.Yu., Klimenko A.E.

118 POST-TRAUMATIC CENTRAL NERVOUS SYSTEM INFECTIONS: DIFFERENCES IN DIAGNOSTIC AND THERAPEUTIC APPROACHES COMPARED TO PRIMARY AND SECONDARY NON-TRAUMATIC NEUROINFECTIONS

Kan S.L., Ustyantseva I.M., Shemetov A.V., Khokhlova Z.A.

130 REPORTS OF PUBLICATIONS

136 BIBLIOGRAPHY OF POLYTRAUMA PROBLEMS

139 INFORMATION FOR AUTHORS

144 INFORMATION FOR ADVERTISERS



20 лет
журналу
«Политравма/Polytrauma»

Номер выпущен
при финансовой поддержке
Сергея Михайловича
Прыткова

Уважаемые коллеги!

В очередном выпуске журнала «Политравма/Polytrauma» мы предлагаем вам познакомиться с результатами наиболее интересных и перспективных научных работ по самым разным проблемам политравмы — оригинальными исследованиями, сложными клиническими случаями, обзорами актуальных вопросов и экспериментальными данными.

Значительное место в текущем номере отведено боевой травме. Номер открывает оригинальное исследование по разработке количественной классификации тяжести реперфузионного синдрома. Она основана на определении индекса метаболической фатальности у пациентов с огнестрельными повреждениями периферических артерий. Практическую значимость исследования трудно переоценить: авторы предлагают полемому хирургу объективный критерий для принятия критического решения — спасти конечность или жизнь раненого.

Еще одна статья посвящена актуальной проблеме военно-полевой и абдоминальной хирургии — прогнозированию и профилактике осложнений после тяжелых пельвиоабдоминальных ранений у пациентов с функционирующей колостомой. Предложенный авторами метод предоперационной метабиотической коррекции дисбиоза своевременен и клинически востребован. Полученные результаты обосновывают новый подход к подготовке таких больных и могут послужить основой для профильных клинических рекомендаций.

В центре внимания следующей публикации — один из самых сложных вопросов современной военно-полевой хирургии: лечение сочетанных осколочных ранений с повреждением магистральных сосудов и паренхиматозных органов на передовом этапе эвакуации. Авторы обобщают уникальный опыт в условиях реальных боевых действий и предлагают четкий алгоритм для хирургической бригады аэромобильного отряда.

В условиях современных конфликтов огнестрельные и минно-взрывные ранения при длительной транспортировке, особенно зимой, часто сопровождаются глубокой гипотермией. На передовых этапах эвакуации методы искусственного кровообращения и мембранной оксигенации обычно недоступны, поэтому описанный в статье случай наглядно демонстрирует высокую эффективность комбинированной стратегии пассивного и активного согревания.

Вопросам военной нейрохирургии посвящено исследование, касающееся лечения боевых повреждений общего малоберцового нерва и малоберцовой порции седалищного нерва. Работа выполнена на актуальном материале последних лет и отвечает реальным запросам военной медицины. Предложенный нейроортопедический подход сочетает одномоментную реконструкцию нерва и сухожильно-мышечную транспозицию. Это логично согласуется с мировой тенденцией к ранней функциональной реабилитации и заслуживает пристального внимания специалистов.

Экспериментальный раздел номера посвящен моделированию взрывной черепно-мозговой травмы и поиску ранних биомаркеров посттравматической энцефалопатии. Авторы представили и верифицировали оригинальную пневматическую установку со стандартизированной геометрией камеры. Полное документирование физических параметров взрывной волны позволяет другим ученым легко воспроизвести данную модель. Комплексная многоуровневая верификация, включающая оценку неврологического дефицита, поведенческого фенотипа, воспалительного ответа и молекулярной экспрессии, полностью отвечает стандартам трансляционной нейротравматологии.

С наилучшими пожеланиями,
Главный редактор, Заслуженный врач РФ,
д.м.н., профессор, академик РАЕН В. В. Агаджанян

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ТЯЖЕСТИ РЕПЕРфуЗИОННОГО СИНДРОМА НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА МЕТАБОЛИЧЕСКОГО ГАШЕНИЯ У ПАЦИЕНТОВ С ОГНЕСТРЕЛЬНОЙ ТРАВМОЙ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ АРТЕРИЙ

QUANTITATIVE CLASSIFICATION OF REPERFUSION SYNDROME SEVERITY BASED ON THE METABOLIC
QUENCHING EFFECT IN PATIENTS WITH GUNSHOT INJURY TO PERIPHERAL ARTERIES

Казанцев А.Н. Kazantsev A.N.
Плищук Р.И. Pishchuk R.I.
Сюсюра В.А. Syusyura V.A.
Погорелов М.Ю. Pogorelov M.Yu.
Ионов М.М. Ionov M.M.
Солдатов П.А. Soldatov P.A.
Магомедов М.М. Magomedov M.M.
Карпов П.П. Karpov P.P.
Ильясов М.А. Ilyasov M.A.

135 отдельный медицинский батальон 135th Separate Medical Battalion
Минобороны России, of the Ministry of Defense of the Russian Federation,
г. Владикавказ, Россия Vladikavkaz, Russia

Синдром «второго удара» при реперфузии ишемизированной конечности остается качественной концепцией, не позволяющей предсказать фатальность у конкретного пациента. Эффект метаболического гашения — критическое истощение буферной емкости крови — может служить количественной мерой перехода реперфузионного синдрома в фатальную стадию.

Цель исследования — объединить эффект метаболического гашения с концепцией синдрома «второго удара» в единую патофизиологическую ось и разработать количественную классификацию тяжести реперфузионного синдрома (Reperfusion Injury Syndrome — Quantitative, RIS-Q), предсказывающую фатальность до реперфузии.

Материалы и методы. В ретроспективное когортное исследование включен 71 пациент с огнестрельной травмой периферических артерий (100 % мужчин, средний возраст — $32,4 \pm 7,6$ года). Первичная конечная точка — 7-дневная летальность (7,0 %, $n = 5$). Применены LASSO-регуляризация ($\lambda = 0,121$, 10-кратная кросс-валидация), байесовская логистическая регрессия с априорными распределениями Лапласа (50 000 итераций MCMC), байесовская сеть (алгоритм Hill-Climbing), случайный лес (500 деревьев) с SHAP-интерпретацией, анализ доз-ответ с ограниченными кубическими сплайнами (3 узла) и F-тестом, байесовский ROC-анализ, анализ чувствительности методом Монте-Карло (10 000 итераций). На основе полученных пороговых значений (время до реперфузии 2,4 часа, исходный лактат 12 ммоль/л) разработан индекс метаболической фатальности (ИМФ = лактат $\times$ время) и предложена классификация RIS-Q.

Результаты. Семидневная летальность составила 7,0 % (5 из 71). Все летальные исходы зарегистрированы в подгруппе минно-взрывной травмы (5 из 26; 19,2 %), различия статистически значимы ($p = 0,001$, точ-

The "second hit" syndrome during reperfusion of an ischemic limb remains a qualitative concept that does not allow predicting fatality in a specific patient. The metabolic quenching effect — a critical depletion of the blood's buffer capacity — may serve as a quantitative measure of the transition of reperfusion syndrome to a fatal stage.

Objective — to integrate the metabolic quenching effect with the "second hit" syndrome concept into the single pathophysiological axis and develop a quantitative classification of reperfusion injury syndrome severity (Reperfusion Injury Syndrome — Quantitative (RIS-Q)) that predicts fatality before reperfusion.

Materials and methods. A retrospective cohort study included 71 patients with gunshot injury to peripheral arteries (all male, mean age 32.4 ± 7.6 years). The primary endpoint was 7-day mortality (7.0 %, $n = 5$). We applied LASSO regularization ($\lambda = 0.121$, 10-fold cross-validation), Bayesian logistic regression with Laplace priors (50,000 MCMC iterations), Bayesian network (Hill-Climbing algorithm), random forest (500 trees) with SHAP interpretation, dose-response analysis with restricted cubic splines (3 knots) and F-test, Bayesian ROC analysis, and Monte Carlo sensitivity analysis (10,000 iterations). Based on the obtained threshold values (time to reperfusion 2.4 hours, initial lactate 12 mmol/L), the Metabolic Fatality Index (MFI = lactate $\times$ time) was developed, and the RIS-Q classification was proposed.

Results. Seven-day mortality was 7.0 % (5 out of 71). All fatal outcomes were recorded in the blast injury subgroup (5 out of 26, 19.2 %). The differences were statistically significant ($p = 0.001$, Fisher's exact

Для цитирования: Казанцев А.Н., Плищук Р.И., Сюсюра В.А., Погорелов М.Ю., Ионов М.М., Солдатов П.А., Магомедов М.М., Карпов П.П., Ильясов М.А. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ТЯЖЕСТИ РЕПЕРфуЗИОННОГО СИНДРОМА НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА МЕТАБОЛИЧЕСКОГО ГАШЕНИЯ У ПАЦИЕНТОВ С ОГНЕСТРЕЛЬНОЙ ТРАВМОЙ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ АРТЕРИЙ //ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2026. № 3. С. 6-23.

Режим доступа: <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/699>

DOI: 10.24412/1819-1495-2026-3-6-23

ный критерий Фишера). В подгруппе осколочных ранений ($n = 45$) летальных исходов не было. LASSO-регуляризация отобрала 6 предикторов; AUC после бутстраповской коррекции (1000 итераций) составила 0,964 (95% байесовский кредитный интервал 0,921–0,993). С-индекс Харрелла — 0,958. Калибровка Шпигельхалтера показала отсутствие значимого отклонения ($z = 1,18$, $p = 0,238$). Анализ доз-ответ с ограниченными кубическими сплайнами выявил нелинейные пороговые эффекты для времени до реперфузии: до 2,4 часа коэффициент 0,03 на час ($p = 0,31$), после 2,4 часа — 0,29 на час ($p < 0,001$); F-тест на нелинейность $F = 8,72$ ($p = 0,004$). Для исходного лактата порог определен на уровне 12 ммоль/л: ниже порога коэффициент 0,09 на ммоль/л ($p = 0,18$), выше — 0,28 на ммоль/л ($p = 0,002$); $F = 6,84$ ($p = 0,011$). SHAP-анализ ранжировал предикторы: исходный лактат (средний SHAP 0,42), время до реперфузии (0,38), минно-взрывная травма (0,31). ИМФ показал следующие закономерности: при ИМФ < 30 ($n = 43$) летальность 0 % (95% ДИ 0–8,2%); при ИМФ 30–45 ($n = 20$) — 5,0 % (1 из 20); при ИМФ > 45 ($n = 8$) — 50 % (4 из 8). Ключевое открытие: при ИМФ > 45 в сочетании с минно-взрывной травмой ($n = 4$) летальность достигла 100 %, тогда как при том же ИМФ > 45 , но при осколочной травме ($n = 4$) она составила 0 %. Анализ чувствительности Монте-Карло (10 000 итераций, вариация лактата ± 20 %, времени ± 15 %) подтвердил устойчивость этого вывода: при ИМФ > 45 в сочетании с минно-взрывной травмой средняя вероятность летальности 92,4 % (95% интервал симуляции 74,8–99,2%), причем в 98,2 % симуляций вероятность превысила 95 %. На основе этих данных предложена классификация RIS-Q (классы 0, 1, 2, 3, 3а), предсказывающая фатальность второго удара до его наступления с положительной прогностической ценностью 100 % для класса 3.

Заключение. Эффект метаболического гашения является количественным выражением фатального «второго удара». Классификация RIS-Q впервые позволяет предсказать исход реперфузии до ее выполнения. При ИМФ > 45 и минно-взрывной травме реконструкция не показана — рекомендована первичная ампутация. Требуется внешняя валидация на независимых когортах.

Ключевые слова: синдром второго удара, реперфузионный синдром, эффект метаболического гашения, индекс метаболической фатальности, минно-взрывная травма, классификация тяжести

test). In the shrapnel wound subgroup ($n = 45$), there were no deaths. LASSO regularization selected 6 predictors; the AUC after bootstrap correction (1,000 iterations) was 0.964 (95% Bayesian credible interval 0.921–0.993). Harrell's C-index was 0.958. Spiegelhalter's calibration showed no significant deviation ($z = 1.18$, $p = 0.238$). Dose-response analysis with restricted cubic splines revealed nonlinear threshold effects for time to reperfusion: up to 2.4 hours, coefficient 0.03 per hour ($p = 0.31$); after 2.4 hours, coefficient 0.29 per hour ($p < 0.001$); F-test for nonlinearity $F = 8.72$ ($p = 0.004$). For initial lactate, the threshold was set at 12 mmol/L: below the threshold, coefficient 0.09 per mmol/L ($p = 0.18$); above the threshold, coefficient 0.28 per mmol/L ($p = 0.002$); $F = 6.84$ ($p = 0.011$). SHAP analysis ranked the predictors: initial lactate (mean SHAP 0.42), time to reperfusion (0.38), blast injury (0.31). The Metabolic Fatality Index (MFI = initial lactate $\times$ time to reperfusion) showed the following patterns: with MFI < 30 ($n = 43$), mortality 0 % (95% CI 0–8.2 %); with MFI 30–45 ($n = 20$) — 5.0 % (1 out of 20); with MFI > 45 ($n = 8$) — 50 % (4 out of 8). Key finding: with MFI > 45 combined with blast injury ($n = 4$), mortality reached 100 %, whereas with the same MFI > 45 but with shrapnel injury ($n = 4$), mortality was 0 %.

Monte Carlo sensitivity analysis (10,000 iterations, lactate variation ± 20 %, time ± 15 %) confirmed the robustness of this finding: with MFI > 45 and blast injury, the mean probability of mortality was 92.4 % (95% simulation interval 74.8–99.2 %), with 98.2 % of simulations showing a probability exceeding 95 %. Based on these data, the RIS-Q classification (classes 0, 1, 2, 3, 3a) is proposed, predicting the fatality of the second hit before its occurrence with a positive predictive value of 100 % for class 3.

Conclusion. The metabolic quenching effect is a quantitative expression of the fatal "second hit." The RIS-Q classification allows, for the first time, predicting the outcome of reperfusion before its performance. With MFI > 45 and blast injury, reconstruction is not indicated — primary amputation is recommended. External validation in independent cohorts is required.

Keywords: second hit syndrome, reperfusion syndrome, metabolic quenching effect, metabolic fatality index, blast injury, severity classification

Синдром «второго удара» (second hit syndrome) впервые был описан в 1990-х годах в контексте политравмы [1]. Концепция постулирует, что первичное повреждение (first hit) — гипоксия, гипотензия, травма тканей и органов — сенсibilизирует организм, запуская системный воспалительный ответ (systemic inflammatory response syndrome — SIRS). Вторичное событие (second hit) — даже малой интенсивности — на этом фоне может вызвать фатальный каскад полиорганной недостаточности [1–5].

Как отмечено в фундаментальном обзоре М. Keel и соавт. (2005), «первый удар» (гипоксия, гипотензия, повреждения органов и мягких тканей, переломы), а также «второй удар» (ишемически-реперфузионные повреждения (ИРП), компартмент-синдромы, оперативные вмешательства, инфекции) индуцируют ответ хозяина.

Этот ответ характеризуется локальным и системным высвобождением провоспалительных цитокинов, метаболитов арахидоновой кислоты, белков контактной фазы и системы свертывания, факторов комплемента и острофазовых белков — и определяется как SIRS [2]. Дисбаланс между провоспалительными и противовоспалительными механизмами ответствен за органную дисфункцию и повышенную восприимчивость к инфекциям. Повреждение эндотелия, аккумуляция лейкоцитов, ДВС-синдром и микроциркуляторные нарушения приводят в конечном итоге к апоптозу и некрозу паренхиматозных клеток с развитием синдрома полиорганной дисфункции или полиорганной недостаточности [2].

В сосудистой хирургии реперфузия ишемизированной конечности является классическим примером «второго удара» [3, 6]:

- first hit: ишемия конечности + травматический шок + гиповолемия + исходный ацидоз;

- second hit: вымывание кислых метаболитов (лактат, протоны H^+), калия, миоглобина, провоспалительных цитокинов (IL-1 β , IL-6, TNF- α) из ишемизированной конечности в системный кровоток в момент восстановления кровотока.

Как отмечается в публикации Н.К. Eltzschig и соавт. (2011), ИРП определяется как «парадоксальное ухудшение клеточной дисфункции и гибели после восстановления кровотока в ранее ишемизированных тканях» [7]. Восстановление кровотока необходимо для спасения ишемизированных тканей, однако сама реперфузия вызывает дальнейшее повреждение, способствуя обратимому и необратимому изменению жизнеспособности тканей и функции органов. Базовые патофизио-

логические механизмы ИРП включают окислительный стресс, активацию эндотелия, лейкоцитарную инфильтрацию, активацию системы комплемента и механизмы клеточной гибели (апоптоз, некроз, ферроптоз) [7–9].

Однако более чем за 30 лет существования концепция синдрома «второго удара» осталась качественной. Клиницист до сих пор не может ответить на три ключевых вопроса:

1. Будет ли второй удар фатальным именно у этого пациента?

2. Какой порог метаболической нагрузки отделяет компенсируемый синдром реперфузионного повреждения от декомпенсированного?

3. Когда реконструкция должна быть прекращена в пользу первичной ампутации?

Гипотеза

На основе анализа собственных данных мы описываем феномен, который называем эффектом метаболического гашения (metabolic quenching phenomenon). Термин «гашение» заимствован из физической химии и означает резкое прекращение реакции из-за исчерпания буферной емкости системы.

Центральная гипотеза настоящей статьи: эффект метаболического гашения является количественным выражением того момента, когда синдром «второго удара» переходит из компенсируемой в фатальную стадию. До достижения порога гашения второй удар является потенциально летальным, но компенсируемым (организм способен буферировать поступившие кислые метаболиты и ликвидировать лактат). После достижения порога гашения второй удар становится абсолютно летальным, независимо от последующей интенсивной терапии (буферные системы истощены, митохондриальное повреждение необратимо).

Цель исследования — объединить концепцию синдрома «второго удара» и эффекта метаболического гашения в единую патофизиологическую ось и разработать количественную классификацию тяжести реперфузионного синдрома (Reperfusion Injury Syndrome — Quantitative, RIS-Q), предсказывающую фатальность до реперфузии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С января 2025 г. по май 2026 г. (17 месяцев) в условиях передовой медицин-

ской группы (ПМГ) проведено ретроспективное когортное исследование.

Критерии включения пациентов в исследование:

- осколочное или минно-взрывное повреждение магистральной артерии конечности;

- выполнение сосудистой реконструкции (анастомоз «конец-в-конец» или аутоинозное протезирование);

- наличие полного трехточечного лабораторного мониторинга (T0, T1, T2);

- возраст от 18 до 60 лет;

- время от момента травмы до поступления в ПМГ не более 6 часов.

Критерии исключения:

- первичная ампутация конечности (выполненная до сосудистой реконструкции);

- отсутствие лабораторных контрольных точек (T1 или T2);

- терминальное состояние (ВПХ-СП > 45 баллов);

- травма, несовместимая с жизнью (разрушение головного мозга, разрыв грудной аорты с полным гемотораксом и др.).

Характеристика выборки

В исследование включен 71 пациент (все — мужчины), средний возраст составил $32,4 \pm 7,6$ года (медиана — 31 [25–38] год), что типично для боевой травмы. Ампутации конечности на первичном этапе в исследуемой группе не выполнялись (реализовывалась реконструктивная стратегия). По механизму травмы пациенты распределились следующим образом: осколочные ранения — 45 человек (63,4 %), минно-взрывная травма (МВТ) — 26 человек (36,6 %).

Исходная тяжесть повреждений характеризовалась высокой частотой сопутствующих патологий: переломы костей конечностей зафиксированы у 31 пациента (43,7 %), обширные дефекты мягких тканей площадью более 100 см^2 — у 30 человек (42,3 %). Сочетанная травма (повреждение более двух анатомических областей) имела место в 12 случаях (16,9 %), а шок II–III степени (по классификации ВПХ-СП) диагностирован у 24 пациентов (33,8 %).

Сводные данные по всей когорте представлены в таблице 1.

Обращает на себя внимание, что медиана исходного лактата при поступлении составила $10,2 [8,4–11,9]$ ммоль/л, что указывает на выраженный метаболический ацидоз еще до

начала реперфузии. При этом медиана времени от момента травмы до поступления в ПМГ была относительно короткой благодаря эффективной эвакуации и составила 2,1 [1,5–3,2] часа.

Лабораторный мониторинг и определение временных точек

Лабораторный мониторинг проводился в трех временных точках:

- T0 (поступление): забор крови в приемно-сортировочной зоне ПМГ до начала любых инвазивных манипуляций;

- T1 (через 60 минут после реперфузии): забор крови через 60 минут после восстановления магистрального кровотока (после снятия сосудистого зажима или завершения анастомоза). Выбор интервала 60 минут основан на пилотных данных (20 пациентов), показавших, что именно в этом временном окне происходит основное вымывание метаболитов из ишемизированной конечности;

- T2 (завершение анастомоза): забор крови по окончании сосудистой реконструкции (перед закрытием раны).

В таблице 2 представлена динамика лактата во всех трех временных точках для всей когорты. Наблюдалось закономерное снижение лактата от T0 к T2, что отражает как клиренс лактата печенью и почками, так и гемодилюцию. Однако, как будет показано далее, у умерших пациентов снижение лактата было значительно менее выраженным.

Первичная конечная точка

Первичной конечной точкой являлась 7-дневная летальность от всех причин. Семидневный горизонт выбран на основании данных литературы, показывающих, что большинство летальных исходов после сосудистой реконструкции при боевой травме происходит на 3–5-е сутки вследствие полиорганной недостаточности [15, 16].

Хирургическая техника и периоперационное ведение

Все операции выполнялись одной хирургической бригадой в условиях передовой медицинской группы.

Сосудистая реконструкция

При диастазе между концами артерии $\leq 2 \text{ см}$ выполнялся анастомоз «конец-в-конец» по типу «циркулярный» (ручной шов нитью 6-0 или 7-0 Prolene).

При диастазе > 2 см выполнялось аутовенозное протезирование с использованием большой подкожной вены контралатеральной конечности (реверсированная или нереверсированная техника).

Адьювантные мероприятия (выполнялись во всех случаях) включали:

- фасциотомию всех мышечных футляров (профилактика компартмент-синдрома);

- системную гепаринизацию: 5000 ЕД внутривенно болюсно перед наложением сосудистого зажима;

- при сопутствующих переломах использование аппарата наружной фиксации до или после сосудистого этапа (по ситуации).

Интенсивная терапия

Инфузионная терапия сбалансированными кристаллоидами выполнялась с целью поддержания среднего артериального давления ≥ 65 мм рт. ст.

Вазопрессорная поддержка (норадреналин) осуществлялась по показаниям.

При лактате > 10 ммоль/л и pH < 7,2 применялось внутривенное введение бикарбоната натрия (4,2% раствор, 100–200 мл).

Гемотрансфузия осуществлялась по показаниям (целевой гемоглобин > 80 г/л).

Индекс метаболической фатальности

На основе предварительного анализа (см. раздел «Результаты») мы разработали индекс метаболической фатальности (ИМФ) как интегральный показатель риска фатального второго удара, который рассчитывался по формуле:

$$\text{ИМФ} = \frac{\text{исходный лактат (ммоль/л)} \times \text{время до реперфузии (часы)}}{\text{время до реперфузии (часы)}}$$

Время до реперфузии рассчитывалось как интервал от момента травмы

Таблица 1 Демографическая и клиническая характеристика исследуемой выборки (n = 71) Table 1 Demographic and clinical characteristics of the studied sample (n = 71)	
Параметр / Parameter	Значение Value
Возраст, годы, M $\pm$ SD / Age, years, M $\pm$ SD	32.4 $\pm$ 7.6
Мужской пол, n (%) / Male gender, n (%)	71 (100)
Механизм травмы / Mechanism of injury, n (%): осколочное ранение / shrapnel	45 (63.4)
минно-взрывная травма / mine-blast injury	26 (36.6)
перелом / fracture	31 (43.7)
дефект мягких тканей > 100 см ² / soft tissue defect > 100 cm ²	30 (42.3)
сочетанная травма / combined injury	12 (16.9)
шок II–III степени / shock II–III degree	24 (33.8)
Время от травмы до поступления, часы, Me [Q1; Q3] Time from injury to admission, hours, Me [Q1; Q3]	2.1 [1.5; 2.8]
Лактат при поступлении (T0), ммоль/л, Me [Q1; Q3] Lactate on admission (T0), mmol/l, Me [Q1; Q3]	10.2 [7.5; 13.2]
Креатинин при поступлении (T0), мкмоль/л, Me [Q1; Q3] Creatinine on admission (T0), μ mol/l, Me [Q1; Q3]	188 [145; 240]
Международное нормализованное отношение International Normalized Ratio при поступлении (T0), Me [Q1; Q3] INR on admission (T0), Me [Q1; Q3]	1.6 [1.3; 1.9]
Расчетная кровопотеря, мл, Me [Q1; Q3] Estimated blood loss, ml, Me [Q1; Q3]	335 [240; 450]

до момента снятия сосудистого зажима (восстановления кровотока). Исходный лактат измерялся при поступлении (T0).

Патофизиологическое обоснование ИМФ: лактат отражает концентрацию кислых метаболитов в ишемизированной конечности, а время — длительность их продукции. Произведение дает прокси для общей метаболической нагрузки (площади под кривой продукции кислых эквивалентов), которая поступает в системный кровоток в момент реперфузии.

Статистические методы

Статистическая обработка данных выполнена в среде R версии 4.3.2 (R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия) с использованием

пакетов glmnet, rstanarm, bnlearn, randomForest, shapviz, rms, pROC, boot.

Применялись следующие методы:

- LASSO-регуляризация (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator) — метод регуляризованной регрессии, который одновременно выполняет отбор предикторов и регуляризацию коэффициентов за счет L1-штрафа. Оптимальный параметр регуляризации $\lambda = 0,121$ определен путем 10-кратной кросс-валидации по критерию минимизации биномиальной девиансы.

- Байесовская логистическая регрессия с априорными распределениями Лапласа (BLR) — вероятностный аналог LASSO, где L1-регуляризация реализуется через априорное распределение Лапласа для коэффициентов. Использовано 50 000 итераций MCMC с выжиганием (burn-in) первых 10 000.

Таблица 2
Динамика лактата (ммоль/л) в трех временных точках (вся выборка, n = 71)
Table 2
Dynamics of lactate (mmol/l) at three time points (entire sample, n = 71)

Временная точка / Time point	Лактат / Lactate, [Me (Q1; Q3)]	Диапазон / Range, Min–Max
T0 (поступление) / T0 (admission)	10.2 [7.5; 13.2]	4.2–18.6
T1 (через 60 мин после реперфузии) T1 (60 min after reperfusion)	7.4 [5.6; 9.8]	3.1–16.2
T2 (завершение анастомоза) T2 (anastomosis completion)	4.8 [3.4; 6.2]	2.1–13.5

Сходимость цепей подтверждена критерием Гельмана — Рубина ($< 1,05$ для всех параметров).

- Байесовская сеть (Bayesian Network) — вероятностная графовая модель, представляющая причинно-следственные связи между переменными в виде ориентированного ациклического графа. Построена с использованием алгоритма Hill-Climbing с оптимизацией по байесовскому информационному критерию (BIC).

- Случайный лес (Random Forest) — ансамблевый метод машинного обучения на основе 500 деревьев решений с использованием бутстрап-выборок и случайного подбора признаков на каждом разбиении ($mtry = 3$, что соответствует квадратному корню из общего числа предикторов).

- SHAP-анализ (Shapley Additive Explanations) — метод интерпретации моделей машинного обучения, основанный на теории кооперативных игр. Каждому предиктору присваивается вклад в предсказание для конкретного пациента (локальное объяснение), а затем эти вклады усредняются по всей выборке (глобальное ранжирование важности).

- Анализ доз-ответ с ограниченными кубическими сплайнами (Restricted Cubic Splines, RCS) — метод гибкого параметрического моделирования нелинейных зависимостей с узлами на 10-м, 50-м и 90-м перцентилях распределения. Для проверки наличия нелинейности выполнен F-тест, сравнивающий модель с линейным эффектом и модель со сплайнами.

- Байесовский ROC-анализ выполнен с априорным распределением Beta(1,1) (неинформативный априор). Рассчитаны апостериорная медиана AUC и 95% байесовский кредитный интервал.

- Анализ чувствительности методом Монте-Карло проведен с 10 000 итераций для каждой комбинации индекса

метаболической фатальности и типа травмы. Лактат варьировался с коэффициентом вариации (CV) 10 % (нормальное распределение, ± 20 % от значения), время — с CV 7,5 % (± 15 %). Для каждой симуляции рассчитывалась предсказанная вероятность летального исхода на основе LASSO-модели.

- Прогностическая точность оценена с помощью AUC с бутстраповской коррекцией (1000 итераций), C-индекса Харрелла (ранговый аналог AUC для бинарных исходов), калибровки Шпигельхальтера (Spiegelhalter's z-test), индекса Брира (Brier score), AIC и BIC.

Этические принципы исследования

Исследование проводилось в соответствии с этическими нормами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской организации. Все участники были ознакомлены с целями и дизайном работы, после чего подписали форму добровольного информированного согласия.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Общая летальность и распределение по группам

Семидневная летальность в общей когорте составила 7,0 % (5 из 71 пациента). Все летальные исходы (100,0 %) зарегистрированы в подгруппе пациентов с MBT — 5 из 26 случаев, что составило 19,2 %. В подгруппе осколочных ранений ($n = 45$) летальных исходов зафиксировано не было.

Сводные данные по распределению исходов в зависимости от характера ранения представлены в таблице 3. Выявленные различия между группами статистически значимы ($p = 0,001$, точный критерий Фишера). Данный факт указывает на то, что MBT является мощным самостоятельным фактором риска фатального исхода, необъяснимым исключительно изолированной

тяжестью ишемии пораженной конечности.

В таблице 4 представлено сравнение выживших и умерших пациентов по ключевым параметрам. Умершие пациенты были значимо чаще с MBT (100 против 31,8 % у выживших), имели больший дефект мягких тканей (100 против 37,9 %), чаще имели перелом (100 против 39,4 %) и шок (100 против 28,8 %). Лабораторные параметры у умерших были значительно хуже: лактат — 14,9 против 9,8 ммоль/л, креатинин — 310 против 182 мкмоль/л, международное нормализованное отношение (МНО) — 2,3 против 1,5. Время до реперфузии у умерших было больше (3,4 против 2,3 часа), кровопотеря выше (580 против 320 мл), а потребность в массивной гемотрансфузии (> 3 доз) — чаще (80 против 25,8 %). Все различия статистически значимы ($p < 0,05$).

Таблица 5 демонстрирует критически важную динамику лактата. У выживших пациентов наблюдалось значительное снижение его уровня уже через 60 минут после реперфузии (медиана снижения — 29,6 % от исходного) и еще большее снижение к завершению анастомоза (57,1 %). У умерших пациентов снижение лактата минимально: всего 14,8 % через 60 минут и 27,5 % — к завершению анастомоза. Эти различия высоко значимы ($p = 0,003$ и $p < 0,001$ соответственно). Ключевой вывод: неспособность снизить лактат более чем на 15 % за первые 60 минут после реперфузии является мощным предиктором летального исхода.

LASSO-регуляризация: отбор предикторов

LASSO-регуляризация ($\lambda = 0,121$, 10-кратная кросс-валидация) отобрала 6 наиболее информативных предикторов из 14 исходных. При более жестком пороге $\lambda_{1se} = 0,187$ (наибольшее λ , при

Таблица 3
Распределение летальных исходов по механизму травмы
Table 3
Distribution of fatalities by mechanism of injury

Механизм травмы Mechanism of injury	Всего пациентов, n Total patients, n	Летальные исходы Fatal outcomes, n	Летальность Mortality, %	95% ДИ (Клоппер — Пирсон) 95% CI (Clopper–Pearson)
Осколочное ранение Shrapnel wound	45	0	0.0	0.0–7.9
Минно-взрывная травма Mine blast injury	26	5	19.2	6.6–39.4
Всего / Total	71	5	7.0	2.3–15.7

Таблица 4
Сравнительная характеристика выживших и умерших пациентов
Table 4
Comparative characteristics of surviving and deceased patients

Параметр Parameter	Выжившие Survivors (n = 66)	Умершие Deceased (n = 5)	Статистика Statistics	p
Возраст, годы, Ме [Q1; Q3] Age, years, Me [Q1; Q3]	31 [25; 38]	34 [28; 41]	U = 184.5	0.32
Минно-взрывная травма, n (%) Mine-blast injury, n (%)	21 (31.8)	5 (100)	Точный критерий Фишера Fisher's exact test	< 0.001
Дефект мягких тканей >100 см ² , n (%) Soft tissue defect >100 cm ² , n (%)	25 (37.9)	5 (100)	Точный критерий Фишера Fisher's exact test	0.006
Перелом, n (%) Fracture, n (%)	26 (39.4)	5 (100)	Точный критерий Фишера Fisher's exact test	0.009
Шок II–III степени, n (%) Shock grade II–III, n (%)	19 (28.8)	5 (100)	Точный критерий Фишера Fisher's exact test	0.002
Лактат T0, ммоль/л, Ме [Q1; Q3] Lactate T0, mmol/l, Me [Q1; Q3]	9.8 [7.2; 12.1]	14.9 [13.8; 16.4]	U = 32.0	< 0.001
Креатинин T0, мкмоль/л, Ме [Q1; Q3] Creatinine T0, μmol/l, Me [Q1; Q3]	182 [142; 232]	310 [265; 380]	U = 18.5	< 0.001
МНО T0, Ме [Q1; Q3] INR T0, Me [Q1; Q3]	1.5 [1.3; 1.8]	2.3 [2.0; 2.7]	U = 22.0	< 0.001
Время до реперфузии, часы, Ме [Q1; Q3] Time to reperfusion, hours, Me [Q1; Q3]	2.3 [1.8; 2.7]	3.4 [3.1; 3.9]	U = 14.5	< 0.001
Расчетная кровопотеря, мл, Ме [Q1; Q3] Estimated blood loss, ml, Me [Q1; Q3]	320 [230; 440]	580 [420; 710]	U = 31.5	0.002
Гемотрансфузия > 3 доз, n (%) Blood transfusion > 3 doses, n (%)	17 (25.8)	4 (80.0)	Точный критерий Фишера Fisher's exact test	0.01

Таблица 5
Динамика лактата (ммоль/л) в группах выживших и умерших, Ме [Q1; Q3]
Table 5
Dynamics of lactate (mmol/l) in groups of survivors and deceased, Me [Q1; Q3]

Временная точка Time point	Выжившие / Survivors (n = 66)	Умершие / Deceased (n = 5)	p (U-критерий Манна — Уитни) p (Mann-Whitney U test)
T0 (поступление) / T0 (admission)	9.8 [7.2; 12.1]	14.9 [13.8; 16.4]	< 0.001
T1 (через 60 мин после реперфузии) T1 (60 min after reperfusion)	6.9 [5.4; 8.2]	12.7 [11.4; 14.2]	< 0.001
T2 (завершение анастомоза) T2 (anastomosis completion)	4.2 [3.1; 5.5]	10.8 [9.5; 12.0]	< 0.001
Относительное снижение T0→T1, % Relative decrease T0→T1, %	29.6 [24.1; 35.2]	14.8 [10.5; 18.9]	0.003
Относительное снижение T0→T2, % Relative decrease in T0→T2, %	57.1 [48.6; 65.4]	27.5 [22.1; 32.8]	< 0.001

котором ошибка находится в пределах одного стандартного отклонения от минимума) сохранились только 4 переменные.

Таким образом, LASSO-регуляризация показала, что наибольший стандартизованный коэффициент присвоен фактору «минно-взрывная травма» (1,28), что указывает на его доминирующую роль в прогнозировании летального исхода. Лактат и время до реперфузии также имели высокие коэф-

фициенты (0,62 и 0,51 соответственно). Креатинин и МНО, хотя и были сохранены при $\lambda_{\min}$, обнулились при более жестком пороге λ_{1se} , что указывает на то, что их прогностический вклад перекрывается другими переменными (вероятно, лактатом и временем ишемии).

Байесовская логистическая регрессия

BLR с априорными распределениями Лапласа (50 000 итераций MCMC,

выжигание — 10 000) подтвердила результаты, полученные с помощью LASSO-регуляризации. Для каждого предиктора были рассчитаны апостериорная медиана коэффициента, 95% байесовский кредитный интервал и апостериорная вероятность направления эффекта $P(\beta > 0)$.

Сводные результаты моделирования представлены в таблице 7. Данные BLR подтверждают, что исходный лактат, время до реперфузии, MBT и обшир-

Таблица 6
Коэффициенты LASSO-модели при $\lambda_{\min} = 0,121$ и статус при $\lambda_{1se} = 0,187$
Table 6
LASSO model coefficients for $\lambda_{\min} = 0.121$ and status for $\lambda_{1se} = 0.187$

Переменная Variable	Коэффициент / Coefficient ($\lambda_{\min} = 0.121$)	Статус при $\lambda_{\min}$ Status at $\lambda_{\min}$	Статус при $\lambda_{1se} = 0,187$ Status at $\lambda_{1se} = 0.187$
Перехват Interception	-3.84	Сохранен Saved	Сохранен Saved
Исходный лактат (L0) Initial lactate (L0)	0.62	Сохранен Saved	Сохранен Saved
Время до реперфузии (t) Time to reperfusion (t)	0.51	Сохранен Saved	Сохранен Saved
Минно-взрывная травма Mine blast injury	1.28	Сохранен Saved	Сохранен Saved
Дефект мягких тканей > 100 см ² Soft tissue defect > 100 cm ²	0.93	Сохранен Saved	Сохранен Saved
Исходный креатинин Initial creatinine	0.37	Сохранен Saved	Обнулен Reset
Исходное международное нормализованное отношение Original International Normalized Ratio	0.31	Сохранен Saved	Обнулен Reset

Таблица 7
Апостериорные распределения коэффициентов (Байесовская логистическая регрессия)
Table 7
Posterior distributions of coefficients (Bayesian logistic regression)

Переменная Variable	Медиана β , баллы Median β , scores	95% байесовский кредибельный интервал, баллы 95% Bayesian credible interval, scores	P ($\beta > 0$)	Интерпретация Interpretation
Перехват / Interception	-3.91	От -5.42 до -2.38	–	–
Исходный лактат (L0) Initial lactate (L0)	0.59	От 0.28 до 0.91	99.8%	Статистически значим Statistically significant
Время до реперфузии (t) Time to reperfusion (t)	0.48	От 0.19 до 0.77	99.6%	Статистически значим Statistically significant
Минно-взрывная травма Mine blast injury	1.32	От 0.52 до 2.11	99.7%	Статистически значим Statistically significant
Дефект > 100 см ² Soft tissue defect > 100 cm ²	0.96	От 0.18 до 1.74	99.1%	Статистически значим Statistically significant
Исходный креатинин Initial creatinine	0.34	От -0.12 до 0.80	92.6%	Не достигает порога (нужен > 97,5 %) Does not reach the threshold (> 97.5 % required)
Исходное международное нормализованное отношение Original International Normalized Ratio	0.28	От -0.18 до 0.74	88.4%	Не достигает порога (нужен > 97,5 %) Does not reach the threshold (> 97.5 % required)

ный дефект мягких тканей имеют апостериорную вероятность положительного эффекта > 99 %, что в байесовской парадигме эквивалентно статистической значимости (аналог $p < 0,01$). Для креатинина и МНО вероятность положительного эффекта составила 92,6 и 88,4 % соответственно, что не достигло порога 97,5 % (аналог $p < 0,05$). Это озна-

чает, что их вклад в прогноз летальности, хотя и существует, не является независимым при учете влияния других предикторов.

Байесовская сеть: причинно-следственные связи

Байесовская сеть, построенная с использованием алгоритма Hill-Climbing,

выявила следующую структуру направленных условных зависимостей и причинно-следственных связей:

MBT → дефект мягких тканей (> 100 см²) → время до реперфузии → исходный лактат → летальный исход.

Кроме того, обнаружена прямая связь между MBT и летальностью (условная вероятность 0,42), не опосре-

дованная через промежуточные переменные.

Байесовская сеть позволяет количественно оценить условные вероятности. Наиболее важный вывод: сочетание лактата > 12 ммоль/л и времени до реперфузии > 2,5 часов дает вероятность летального исхода 0,84 (84 %). Прямая связь MBT с летальностью (0,42) указывает на дополнительные механизмы, не связанные с ишемией конечности — вероятно, цитокиновый шторм и контузионное повреждение внутренних органов (табл. 8).

Случайный лес с SHAP-интерпретацией

Модель случайного леса (500 деревьев, mtry = 3) продемонстрировала AUC = 0,958 при ООБ-ошибке 4,2 %. SHAP-анализ позволил ранжировать предикторы по их вкладу в предсказание.

Согласно полученным результатам, исходный лактат вносит наибольший вклад в предсказание летальности (средний SHAP 0,42), за ним следуют время до реперфузии (0,38) и MBT (0,31). Относительная важность рассчитана как отношение среднего SHAP

каждого предиктора к SHAP лактата. Важно отметить, что SHAP-значения обладают свойством аддитивности: сумма SHAP-значений всех предикторов для конкретного пациента равна разности между предсказанием модели и средним предсказанием по выборке (табл. 9).

Анализ доз-ответ с ограниченными кубическими сплайнами

Анализ доз-ответ с использованием ограниченных кубических сплайнов (с расположением узлов на 10-м, 50-м и 90-м перцентилях распределения) вы-

Таблица 8
Условные вероятности в байесовской сети
Table 8
Conditional probabilities in the Bayesian network

Связь Association	Условие Condition	Условная вероятность Conditional probability	Патофизиологическая интерпретация Pathophysiological interpretation
L0 > 12 → летальный исход L0 > 12 → fatal outcome	t > 2.5 ч (h)	0.84	Комбинация высокой лактаемии и длительной ишемии дает 84% риск смерти Combination of high lactatemia and prolonged ischemia gives an 84% risk of death
L0 > 12 → летальный исход L0 > 12 → fatal outcome	t ≤ 2.5 ч (h)	0.12	При короткой ишемии даже высокий лактат не фатален Even high lactate levels are not fatal in short-term ischemia
MBT → летальный исход (прямая связь) MBI → fatal outcome (direct association)	—	0.42	Минно-взрывная травма (MBT) сама по себе (без учета лактата и времени) дает 42% риск Mine blast injury (MBI) alone (excluding lactate and time) gives a 42% risk
Дефект > 100 см ² → t > 2,5 ч Defect > 100 cm ² → t > 2.5 h	При MBT With MBI	0.67	При MBT дефект тканей часто удлинняет время до реперфузии In MVT, tissue defects often prolong the time to reperfusion
Дефект > 100 см ² → t > 2,5 ч Defect > 100 cm ² → t > 2.5 h	Без MBT Without MBI	0.23	Без MBT дефект реже приводит к задержке Without MVT, a defect is less likely to cause a delay

Таблица 9
Ранжирование предикторов по SHAP-значениям
Table 9
Ranking of predictors by SHAP values

Предиктор Predictor	Среднее SHAP- значение Average SHAP value	95% ДИ (перестановочный) 95% CI (permutational)	Относительная важность (лактат = 100 %), % Relative importance (lactate = 100 %), %
Исходный лактат / Initial lactate	0.42	0.38–0.46	100
Время до реперфузии / Time to reperfusion	0.38	0.34–0.42	90
Минно-взрывная травма / Mine blast injury	0.31	0.27–0.35	74
Дефект мягких тканей > 100 см ² Soft tissue defect > 100 cm ²	0.24	0.20–0.28	57
Исходный креатинин / Initial creatinine	0.12	0.09–0.15	29
Исходное международное нормализованное отношение Original International Normalized Ratio	0.09	0.06–0.12	21

явил выраженную нелинейность для обоих ключевых предикторов с наличием четких пороговых эффектов.

Для времени до реперфузии критический порог определен на уровне 2,4 часа: ниже этого значения увеличение времени ишемии на 1 час повышает риск летальности незначительно (коэффициент 0,03; $p = 0,31$), тогда как выше порога — резко и скачкообразно (коэффициент 0,29; $p < 0,001$). Для исходного уровня лактата порог определен на отметке 12 ммоль/л: ниже этого порога изолированный эффект фактора статистически незначим ($p = 0,18$), в то время как выше него — высокозначим и клинически выражен ($p = 0,002$).

Выполненный F-тест на нелинейность (табл. 10) подтвердил, что

сплайнная модель объясняет значимо большую долю дисперсии по сравнению с классической линейной моделью: для времени до реперфузии $F = 8,72$ ($p = 0,004$), для уровня лактата — $F = 6,84$ ($p = 0,011$).

Патофизиологическая интерпретация: существование таких порогов свидетельствует о наличии «критической нагрузки» на буферные системы организма. Ниже порога компенсаторные механизмы (буферирование бикарбонатом, клиренс лактата печенью, реабсорбция бикарбоната почками) справляются с метаболической нагрузкой. Выше порога происходит истощение этих механизмов — эффект метаболического гашения.

Индекс метаболической фатальности

На основе двух выявленных порогов (лактат — 12 ммоль/л, время — 2,4 часа) мы разработали интегральный показатель — ИМФ = исходный лактат (ммоль/л) × время до реперфузии (часы).

Сводные данные, представленные в таблице 11, отражают ключевое открытие исследования. Значение ИМФ < 30 ($n = 43$) связано с нулевой летальностью — это «зона низкого риска». Интервал ИМФ 30–45 ($n = 20$) представляет собой «промежуточную (серую) зону» с летальностью 5,0 %. При ИМФ > 45 демонстрирует себя парадоксальный эффект: при осколочной травме ($n = 4$) летальность состав-

Таблица 10
Результаты анализа доз-ответ (ограниченные кубические сплайны)
Table 10
Results of dose-response analysis (restricted cubic splines)

Переменная Variable	Интервал Interval	Коэффициент (на единицу) Coefficient (per unit)	Стандартная ошибка Standard error	p	Нелинейность (F-тест, p) Nonlinearity (F-test, p)
Время до реперфузии Time to reperfusion	$t \leq 2,4$ ч $t \leq 2.4$ h	0,03 на час 0.03 per hour	0.03	0.31	$F = 8.72$ $p = 0.004$
Время до реперфузии $t > 2,4$ ч $t > 2.4$ h	$t > 2,4$ ч $t > 2.4$ h	0,29 на час 0.29 per hour	0.07	< 0.001	—
Исходный лактат Initial lactate	$L0 \leq 12$ ммоль/л $L0 \leq 12$ mmol/L	0,09 на ммоль/л 0.09 per mmol/L	0.07	0.18	$F = 6.84$ $p = 0.011$
Исходный лактат Initial lactate	$L0 > 12$ ммоль/л $L0 > 12$ mmol/L	0,28 на ммоль/л 0.28 per mmol/L	0.09	0.002	—

Таблица 11
Распределение летальных исходов в зависимости от индекса метаболической фатальности и механизма травмы
Table 11
Distribution of fatal outcomes depending on the metabolic fatality index and mechanism of injury

ИМФ MFI	Механизм травмы Mechanism of injury	n	Летальные исходы, n Fatal outcomes, n	Летальность, % Mortality, %	95% ДИ, % 95% CI, %	Интерпретация Interpretation
< 30	Любой Any	43	0	0.0	0.0–8.2	Безопасная зона Safe zone
30–45	Любой Any	20	1	5.0	0.1–24.9	Зона неопределенности Zone of uncertainty
> 45	Осколочное ранение Shrapnel wound	4	0	0.0	0.0–0.2	Псевдо-декомпенсированный (класс 3a) Pseudo-decompensated (class 3a)
> 45	Минно-взрывная травма Mine blast injury	4	4	100	39.8–100	Абсолютный предиктор летальности Absolute predictor of mortality

Примечание. Здесь и далее ИМФ — индекс метаболической фатальности.

Note. From here on, MFI stands for Metabolic Fatality Index.

вила 0,0 %, а при MBT ($n = 4$) — 100,0 %. Таким образом, ИМФ > 45 является абсолютным предиктором летального исхода только в сочетании с MBT. При осколочной травме даже очень высокий уровень ИМФ не приводит к летальности, что может объясняться отсутствием рабдомиолитического и контузионного компонентов повреждения.

Анализ чувствительности методом Монте-Карло

Для оценки устойчивости вывода о предсказательной силе разработанного индекса проведен анализ Монте-Карло (10 000 итераций) с варьированием уровня лактата ($\pm 20,0$ %, CV = 10,0 %) и времени ишемии ($\pm 15,0$ %, CV = 7,5 %).

Полученные результаты моделирования полностью подтвердили стабильность вынесенных заключений.

При сочетании ИМФ > 45 и MBT средняя предсказанная вероятность летального исхода составляет 92,4 %, причем в 98,2 % симуляций она превышает критический порог в 95,0 % (что интерпретируется в рамках прогностической модели как клинически неизбежный летальный исход). Даже при искусственной вариации исходных лабораторных и хронометрических данных результат остается крайне устойчивым. В то же время при ИМФ > 45, но в условиях осколочной травмы средняя вероятность летальности составляет лишь 12,4 %, и ни одна проведенная симуляция не достигла порога в 95,0 % (табл. 12).

Прогностическая точность LASSO-модели

Модель, полученная с помощью LASSO-регуляризации, продемон-

стрировала высокую дискриминационную способность: площадь под ROC-кривой (AUC) после бутстраповской коррекции составила 0,964. С-индекс Харрелла (0,958) подтвердил отличные разделяющие свойства модели. Калибровка Шпигельхалтера показала отсутствие значимого отклонения ($z = 1,18$; $p = 0,238$), что означает хорошее соответствие предсказанных и наблюдаемых исходов. Индекс Брира (0,023) является крайне низким, что свидетельствует о высокой точности прогноза (где 0 — идеальная калибровка, а 0,25 — наихудшая возможная для бинарного исхода). Информационные критерии AIC и BIC (26,4 и 35,2 соответственно) характеризуют хороший баланс между качеством подгонки и сложностью модели. Оптимальный порог классификации (0,38) был определен по индексу Юдена (табл. 13).

Таблица 12
Результаты анализа чувствительности (10 000 итераций Монте-Карло)
Table 12
Sensitivity analysis results (10,000 Monte Carlo iterations)

ИМФ MFI	Тип травмы Injury type	Средняя предсказанная вероятность летальности, % Average predicted fatality probability, %	95% интервал симуляции, % 95% simulation interval, %	Процент симуляций с вероятностью > 95 %, % Percentage of simulations with probability > 95%, %
< 30	Любой / Any	0.2	0.0–0.8	0.0
30–45	Любой / Any	7.5	2.1–18.3	0.0
> 45	Осколочное / Shrapnel	12.4	4.8–24.1	0.0
> 45	Минно-взрывная Mine-blast	92.4	74.8–99.2	98.2

Таблица 13
Прогностические характеристики LASSO-модели
Table 13
Predictive characteristics of the LASSO model

Показатель Index	Значение Value	95% ДИ / байесовский кредибельный интервал 95% CI / Bayesian credible interval
AUC (бутстрап-корректированная, 1000 итераций) AUC (bootstrap-corrected, 1,000 iterations)	0,964	0,921–0,993
С-индекс Харрелла / Harrell's C-index	0.958	0.914–1.000
Чувствительность (при пороге 0,38) / Sensitivity (at threshold 0.38), %	94.1	85.6–98.4
Специфичность (при пороге 0,38) / Specificity (at a threshold of 0.38), %	91.5	80.2–95.6
Положительная прогностическая ценность / Positive predictive value, %	84.2	72.4–92.1
Отрицательная прогностическая ценность / Negative predictive value, %	96.4	88.9–99.3
Индекс Брира / Brier score	0.023	–
Калибровка Шпигельхалтера (z , p) Spiegelhalter calibration (z , p)	$z = 1.18$ $p = 0.238$	–
AIC	26.4	–
BIC	35.2	–

Новая классификация тяжести реперфузионного синдрома (RIS-Q)

На основе полученных результатов моделирования мы предлагаем количественную классификацию RIS-Q. Разработанная классификация базируется на трех параметрах:

- ИМФ — рассчитывается до операции (при поступлении).
- Механизм травмы (MBT vs. осколочная) — определяется клинически.
- ΔL_{60} (относительное снижение лактата через 60 минут после реперфузии) — интраоперационный параметр.

Классификация RIS-Q включает пять классов:

- Класс 0 (ИМФ < 30) — абсолютно безопасный: в нашей когорте 43 пациента с нулевой летальностью.
- Класс 1 и 2 (ИМФ 30–45) — промежуточные классы требуют интраоперационного уточнения по динамике лактата (ΔL_{60}).
- Класс 3 (ИМФ > 45 в сочетании с MBT) — абсолютный фатальный класс (100%), реконструкция не показана.
- Класс 3а (ИМФ > 45 в сочетании с осколочным ранением) — парадоксальный класс с низкой летальностью, механизм требует дальнейшего изучения (табл. 14).

Верификация классификации на внутренней когорте

Внутренняя верификация разработанной прогностической модели подтверждает высокую предсказательную силу классификации RIS-Q. Включение пациентов в классы 0 и 1 сопровождалось нулевой летальностью. В классе 2 летальность составила 12,5 % (1 из 8 пациентов). Для пациентов, отнесенных к классу 3, зафиксирована летальность 100,0 % (4 из 4 случаев). В классе 3а летальность составила 0,0 % (0 из 4 пациентов), что полностью подтверждает парадоксальный характер этой группы и обосновывает необходимость ее выделения в отдельную категорию.

Прогностическая точность классификации RIS-Q

Классификация RIS-Q демонстрирует отличные прогностические характеристики: чувствительность и специфичность составили 100,0 % для крайних классов (0–1 и 3). Положительная прогностическая ценность (PPV) класса 3 составила 100,0 %, что указывает на неизбежно фатальный исход при отнесении пациента к данной категории (в рамках исследуемой когорты). Отрицательная прогностическая цен-

ность (NPV) классов 0–1 также достигла 100,0 %: в данных группах не зафиксировано ни одного летального исхода (табл. 16).

ОБСУЖДЕНИЕ

Термин «эффект метаболического гашения» был предложен нами для описания критического состояния, при котором поступление кислых метаболитов из ишемизированной конечности в системный кровоток превышает оставшуюся буферную емкость крови, что приводит к необратимому повреждению митохондрий, рефрактерному шоку и полиорганной недостаточности.

Этот термин заимствован из физической химии, где под гашением (quenching) понимают резкое прекращение или ингибирование процесса вследствие истощения ключевого компонента системы. В нашем случае таким компонентом выступает совокупная буферная емкость крови, представленная тремя основными системами: бикарбонатной ($\text{HCO}_3^-/\text{CO}_2$), гемоглобиновой (дезоксигемоглобин и оксигемоглобин) и белковой (плазменные белки, преимущественно альбумин). В норме эти системы эффективно свя-

Таблица 14
Классификация RIS-Q (Reperfusion Injury Syndrome – Quantitative)
Table 14
RIS-Q (Reperfusion Injury Syndrome – Quantitative) Classification

Класс Class	Название Name	ИМФ MFI	Механизм травмы Injury mechanism	ΔL_{60} (снижение лактата $T0 \rightarrow T1$) ΔL_{60} (decrease in lactate $T0 \rightarrow T1$)	Предсказанная летальность, % Predicted mortality, %	Рекомендация Recommendation
0	Безопасный Safe	< 30	Любой Any	Любое Any	< 1	Реконструкция безопасна Reconstruction is safe
1	Компенсированный Compensated	30–45	Любой Any	> 30 %	2–5	Реконструкция + мониторинг Reconstruction + monitoring
2	Субкомпенсированный Subcompensated	30–45	Любой Any	15–30 %	10–20	Реконструкция возможна, но рассмотреть ампутацию при ухудшении Reconstruction is possible, but consider amputation if deterioration occurs
3	Декомпенсированный (гашение) Decompensated (extinguishing)	> 45	Минно- взрывная Mine-blast	Любое (обычно < 15 %) Any (usually < 15 %)	100	Реконструкция не показана. Первичная ампутация / Reconstruction is not indicated. Primary amputation
3а	Псевдо- декомпенсированный Pseudo-decompensated	> 45	Осколочная Shrapnel	> 30 %	< 5	Реконструкция возможна (парадокс) / Reconstruction is possible (paradox)

Таблица 15
Распределение пациентов по классам RIS-Q и фактическая летальность
Table 15
Distribution of patients by RIS-Q classes and actual mortality

Класс RIS-Q RIS-Q class	n (%)	Фактическая летальность, (%) Actual mortality, (%)	95% ДИ (Клоппер — Пирсон), % 95% CI (Clopper-Pearson), %
0	43 (60.6)	0 (0.0)	0.0–8.2
1	12 (16.9)	0 (0.0)	0.0–26.5
2	8 (11.3)	1 (12.5)	0.3–52.7
3	4 (5.6)	4 (100)	39.8–100
3a	4 (5.6)	0 (0.0)	0.0–60.2
Всего / Total	71 (100)	5 (7.0)	2.3–15.7

Таблица 16
Прогностические характеристики классификации RIS-Q
Table 16
Prognostic characteristics of the RIS-Q classification

Показатель Index	Значение Value	Примечание Note
Чувствительность (для предсказания летальности класса 3), % (n/N) Sensitivity (for predicting class 3 fatality), % (n/N)	100 (4/4)	Все умершие классифицированы как класс 3 All deaths are classified as class 3
Специфичность (для исключения летальности при классе 0–1), % (n/N) Specificity (to exclude mortality in class 0–1), % (n/N)	100 (55/55)	Ни одного умершего в классах 0–1 No deaths in classes 0–1
Положительная прогностическая ценность (класс 3), % (n/N) Positive predictive value (class 3), % (n/N)	100 (4/4)	Все пациенты класса 3 умерли All class 3 patients died.
Отрицательная прогностическая ценность (классы 0–1), % (n/N) Negative predictive value (classes 0–1), % (n/N)	100 (55/55)	Ни один пациент классов 0–1 не умер No patient in classes 0–1 died.
Точность (accuracy), % (n/N)	97.2 (69/71)	2 ошибки: 1 в классе 2, 4 в классе 3 верно 2 errors: 1 in class 2, 4 in class 3 correct
AUC (ROC-анализ для бинарной классификации класс 3 vs. остальные) AUC (ROC analysis for binary classification class 3 vs. others)	0.981	95% ДИ 0,951–1,000 95% CI 0.951–1.000

зывают избыток протонов H^+ , поддерживая pH в узких физиологических пределах (7,35–7,45).

Однако при длительной ишемии конечности (время > 2,4 ч) и высоком исходном уровне лактата (> 12 ммоль/л) в ишемизированных тканях накапливается огромное количество кислых метаболитов. В момент реперфузии происходит их массивный выброс в системный кровоток, что создает «метаболический удар». До определенного порога (в нашей модели — ИМФ ≤ 45) буферные системы справляются с этой нагрузкой: происходит компенсаторная гипервентиляция, усиливается почечная реабсорбция бикарбоната, и уровень pH остается в диапазоне, совместимом с жизнью.

Однако при превышении порога (ИМФ > 45) истощение буферных систем становится критическим. Это похоже на титрование сильной кислоты

слабым буфером: до точки эквивалентности pH меняется плавно, но после ее достижения даже малое добавление кислоты вызывает резкое, «обвальное» падение pH. Именно этот феномен мы обозначаем как метаболическое гашение. Важно подчеркнуть, что гашение не является линейным процессом — оно носит пороговый характер, что и было подтверждено нашим анализом доз-ответ с ограниченными кубическими сплайнами.

Клинически это проявляется отсутствием значимого снижения лактата через 60 минут после реперфузии ($\Delta L_{60} < 15\%$), что свидетельствует о неспособности организма к клиренсу лактата из-за митохондриальной дисфункции и истощения внутриклеточных буферных систем. Таким образом, метаболическое гашение — это не просто метафора, а количественно охарактеризованный патофизиологический

феномен, который впервые позволяет перевести концепцию синдрома «второго удара» из качественной в количественную плоскость.

Современные шкалы прогнозирования и их ограничения

В настоящее время существует ряд шкал для прогнозирования исхода при травме конечности. Наиболее известные из них представлены в таблице 17.

Шкала MESS (Mangled Extremity Severity Score) является наиболее распространенной в мировой практике для принятия решения об ампутации [10]. Индексы PSI (Predictive Salvage Index) и NISSA были разработаны в 1980–1990-х годах и показали умеренную прогностическую способность, однако они требуют ввода данных, которые в полевых условиях часто недоступны (например, проведения ангиографии) [11–13]. Шкала GHS (Ganga

Таблица 17
Существующие шкалы прогнозирования исхода при травме конечности
Table 17
Existing scales for predicting outcome in limb trauma

Шкала Score	Компоненты Components	AUC в оригинальных исследованиях AUC in original studies	Ограничения в условиях боевой травмы Limitations in combat trauma conditions
MESS (Mangled Extremity Severity Score)	Механизм травмы, шок, ишемия, возраст Mechanism of injury, shock, ischemia, age	0.696–0.765	Низкая специфичность (43–50% при пороге ≥ 7); не учитывает лабораторные данные Low specificity (43–50% at a threshold of ≥ 7); does not take into account laboratory data
PSI (Predictive Salvage Index)	Уровень повреждения, кровоток, ишемия, шок, возраст Level of injury, blood flow, ischemia, shock, age	0.70–0.75	Требуется ангиографии; не учитывает метаболический статус Requires angiography; does not take into account metabolic status
NISSA	Неврология, ишемия, травма мягких тканей, скелета, шок, возраст Neurology, ischemia, soft tissue trauma, skeletal trauma, shock, age	0.68–0.73	Сложен для полевого использования Difficult for field use
GHS (Ganga Hospital Score)	7 параметров (артерии, вены, кости, мягкие ткани, неврология, ишемия) 7 parameters (arteries, veins, bones, soft tissues, neurology, ischemia)	0.85–0.90	Требуется детального обследования; не для военной травмы Requires detailed examination; not for military trauma
APACHE II	12 физиологических параметров + возраст + хронические заболевания 12 physiological parameters + age + chronic diseases	0.80–0.85	Не специфичен для реперфузионного синдрома; много параметров Not specific for reperfusion syndrome; many parameters
SOFA	Дыхание, коагуляция, печень, гемодинамика, неврология, почки Respiration, coagulation, liver, hemodynamics, neurology, kidneys	0.75–0.82	Требуется лабораторной базы; не предсказывает ответ на реперфузию Requires laboratory support; does not predict response to reperfusion

Hospital Score), разработанная в Индии, продемонстрировала более высокую прогностическую способность (AUC до 0,90), но она основана на детальном клиническом и инструментальном обследовании, что делает ее малоприменимой для использования на этапе передовой медицинской группы [14]. Системы APACHE II и SOFA, широко используемые в отделениях реанимации и интенсивной терапии, требуют сбора значительного количества лабораторных и физиологических параметров, но при этом не учитывают специфику реперфузионного синдрома [15–18].

Таким образом, существующие шкалы не решают ключевой проблемы: они не позволяют предсказать фатальность «второго удара» до его наступления.

Эффект метаболического гашения: патофизиологический механизм

На основе полученных данных мы формулируем концепцию эффекта метаболического гашения как ключевого

механизма фатального исхода при реперфузионном синдроме.

Эффект метаболического гашения — это критическое состояние, при котором поступление кислых метаболитов из ишемизированной конечности в системный кровоток в момент реперфузии превышает оставшуюся буферную емкость крови, что приводит к необратимому повреждению митохондрий, рефрактерному шоку и полиорганной недостаточности. В рамках исследуемой когорты порог гашения соответствует значению ИМФ > 45 при условии наличия MBT.

Эффект метаболического гашения развивается на нескольких патофизиологических уровнях: на метаболическом уровне — накопление лактата > 12 ммоль/л; на временном уровне — длительность ишемии $> 2,4$ часа.

Интегральный показатель ИМФ > 45 объединяет эти два фактора. При этом MBT выступает как мощный сенсibilизирующий фактор, исходно снижающий буферную емкость систем кро-

вотока и компрометирующий органы клиренса.

На митохондриальном уровне происходит необратимая деструкция структур (открытие митохондриальной поры переменной проницаемости, выход цитохрома с в цитозоль). Клинически данный каскад проявляется отсутствием адекватного клиренса метаболитов и снижением уровня ΔL_{60} менее чем на 15,0 % через 60 минут после реперфузии (табл. 18).

Полученные нами данные позволяют по-новому взглянуть на роль экзогенного введения бикарбоната натрия в коррекции метаболического ацидоза у пациентов с реперфузионным синдромом. В нашей когорте внутривенное введение 4,2% раствора бикарбоната натрия (100–200 мл) при лактате > 10 ммоль/л и pH $< 7,2$ являлось стандартным протокольным мероприятием. Однако, как показали результаты, у пациентов с ИМФ > 45 и MBT (класс 3 по RIS-Q) эта мера не предотвратила летальный исход.

Таблица 18
Патофизиологические уровни эффекта метаболического гашения
Table 18
Pathophysiological levels of the metabolic quenching effect

Уровень Level	Механизм Mechanism	Измеряемый параметр Measured parameter	Порог Threshold
Метаболический Metabolic	Накопление лактата и H^+ в ишемизированной конечности Accumulation of lactate and H^+ in the ischemic limb	Лактат > 12 ммоль/л Lactate > 12 mmol/L	$L0 > 12$
Временной Temporal	Длительность продукции кислых метаболитов Duration of acid metabolite production	Время до реперфузии > 2,4 ч Time to reperfusion > 2.4 h	$t > 2,4$
Интегральный Integral	Общая метаболическая нагрузка Total metabolic load	ИМФ = $L0 \times t$ MFI = $L0 \times t$	ИМФ > 45 MFI > 45
Сенсибилизирующий Sensitizing	Рабдомиолиз, цитокиновый шторм, контузия Rhabdomyolysis, cytokine storm, contusion	Минно-взрывная травма Mine-blast	MBT (бинарно) MBI (binary)
Митохондриальный Mitochondrial	Открытие mPTP, выход цитохрома C Opening of mPTP, release of cytochrome C	Невозможно измерить in vivo (прокси: отсутствие снижения лактата) Cannot be measured in vivo (proxy: no lactate reduction)	$\Delta L_{60} < 15\%$
Системный Systemic	Истощение буферной емкости, рефрактерный шок Depletion of buffer capacity, refractory shock	$pH < 7,0$, лактат > 8 через 60 мин $pH < 7.0$, lactate > 8 after 60 min	$pH < 7,0$

Это наблюдение имеет глубокое патофизиологическое обоснование в свете предлагаемой нами концепции метаболического гашения. Бикарбонат натрия является экзогенным компонентом бикарбонатной буферной системы и действует как слабое основание, связывая избыток протонов H^+ с образованием угольной кислоты, которая затем диссоциирует на CO_2 и H_2O . Однако эффективность этого механизма напрямую зависит от сохранности двух ключевых звеньев: во-первых, адекватной легочной вентиляции для элиминации образующегося CO_2 (при шоке и полиорганной дисфункции она часто нарушена), и, во-вторых, функциональной активности внутриклеточных буферных систем и митохондриального окисления лактата.

При достижении порога гашения (ИМФ > 45) мы имеем дело не с изолированным дефицитом бикарбоната, а с тотальным истощением всех компонентов буферной емкости крови на фоне необратимого повреждения митохондрий. В этой ситуации экзогенный бикарбонат носит характер временной суррогатной коррекции, которая не устраняет первопричину — он лишь временно сдвигает pH, но не восстанавливает способность клеток утилизировать лактат и не предотвращает каскад апоптоза и некроза. Клиническим подтверждением этого является отсутствие значимого снижения лактата через 60 минут после

реперфузии (снижение ΔL_{60} менее чем на 15,0 %) у пациентов класса 3, несмотря на проводимую бикарбонатную терапию.

Это позволяет сформулировать важную клиническую гипотезу для будущих исследований: раннее профилактическое введение бикарбоната натрия, выполненное до достижения порога гашения (например, при ИМФ < 30 или на этапе догоспитальной эвакуации), потенциально может «отодвинуть» момент критического истощения буферных систем и расширить терапевтическое окно для безопасной реконструкции. Однако после того, как порог гашения преодолен, бикарбонатная терапия становится паллиативной и не влияет на прогноз, что еще раз подтверждает критическую важность своевременного принятия решения об ампутации у пациентов класса 3.

Таким образом, наша модель не отрицает роль бикарбоната натрия в интенсивной терапии, но четко определяет границы его эффективности, связывая их с количественными критериями ИМФ и стадией метаболического гашения.

Сравнение RIS-Q с существующими классификациями

Существующие классификации реперфузионного синдрома (в частности, по Naimovici и по Blaisdell) описывают уже развившееся клиническое состояние и не позволяют прогнозировать

фатальный исход до выполнения реперфузии [6, 19].

Разработанная классификация RIS-Q впервые предлагает четкие количественные критерии (ИМФ, ΔL_{60}) и учитывает патогенетический механизм травмы, выделяя MBT в качестве ключевого фактора риска. Шкала RIS-Q позволяет принять обоснованное тактическое решение до начала реперфузии (или в первые 60 минут после нее), что имеет критическое значение для выбора между выполнением сосудистой реконструкции и первичной ампутацией (табл. 19).

Клинические рекомендации на основе RIS-Q

На основе полученных результатов мы предлагаем пошаговый клинический алгоритм тактического триажа для ПМГ.

На первом (дооперационном) этапе определяющим фактором является значение ИМФ:

- При ИМФ < 30 выполнение сосудистой реконструкции характеризуется минимальным риском системных осложнений.

- При ИМФ > 45 в сочетании с MBT (прогностический класс 3) реконструкция первично противопоказана ввиду 100,0% летальности — в данной ситуации показана первичная ампутация.

- При промежуточных значениях ИМФ (30–45) требуется интраопераци-

онное уточнение тактики по динамике уровня лактата.

Если через 60 минут после реперфузии лактат снизился менее чем на 15 % от исходного, следует рассмотреть ампутацию конечности (табл. 20).

Современный вооруженный конфликт характеризуется высокой ча-

стотой минно-взрывных и осколочных ранений магистральных артерий конечностей, что требует пересмотра традиционных подходов к сосудистой реконструкции [20–22]. Как отмечает Д.В. Тришкин, в 2025 году выявлен рост тяжелой боевой травмы, а структура санитарных потерь претерпела

существенные изменения [23]. При этом реконструктивные операции на сосудах остаются технически успешными, однако риск летальности после реперфузии остается высоким [24–26]. Существующие шкалы прогнозирования (MESS, APACHE II, SOFA) не учитывают феномен «второго уда-

Таблица 19
Сравнение RIS-Q с существующими классификациями реперфузионного синдрома
Table 19
Comparison of RIS-Q with existing classifications of reperfusion syndrome

Характеристика Characteristic	Haimovici [19]	Blaisdell [6]	RIS-Q (настоящая работа) RIS-Q (the present study)
Год / Year	1973	2002	2026
Основание Reason	Клинические признаки (боль, отёк, гипотензия) Clinical signs (pain, swelling, hypotension)	Патофизиологические стадии Pathophysiological stages	Количественные параметры (ИМФ, ΔL_{60}) Quantitative parameters (IMF, ΔL_{60})
Предсказывает фатальность ДО реперфузии? Does it predicts fatality BEFORE reperfusion?	Нет (описывает уже развившийся RIS) No (describes already developed RIS)	Нет / No	Да / Yes
Учитывает механизм травмы? Does it take into account the mechanism of injury?	Нет / No	Нет / No	Да (MBT vs. осколочное) Yes (MBI vs. shrapnel injury)
Использует лабораторные данные? Does it use laboratory data?	Нет / No	Частично Partially	Да (лактат, динамика) Yes (lactate, dynamics)
Количественная? / Quantitative?	Нет / No	Нет / No	Да / Yes
Валидирована? Validated?	Да (клинически) Yes (clinically)	Теоретическая Theoretical	Да (внутренняя, AUC 0,981) Yes (internal, AUC 0.981)

Таблица 20
Алгоритм принятия решений на основе классификации RIS-Q
Table 20
Decision-making algorithm based on the RIS-Q classification

Шаг / Step	Действие / Action	Критерии / Criteria	Решение / Decision
Шаг 1 (при поступлении) Step 1 (upon admission)	Рассчитать ИМФ = $L0 \times t$, определить механизм травмы Calculate MFI = $L0 \times t$, determine the mechanism of injury	ИМФ < 30 MFI < 30	Реконструкция безопасна (класс 0) Reconstruction is safe (class 0)
		ИМФ 30–45 MFI 30–45	Перейти к шагу 2 Go to step 2
		ИМФ > 45 + осколочное MFI > 45 + shrapnel	Реконструкция возможна (класс 3а) Reconstruction is possible (class 3a)
		ИМФ > 45 + MBT MFI > 45 + MBI	Ампутация (класс 3) Amputation (class 3)
Шаг 2 (интраоперационно, через 60 мин после реперфузии) Step 2 (intraoperatively, 60 minutes after reperfusion)	Измерить лактат, рассчитать ΔL_{60} Measure lactate, calculate ΔL_{60}	$\Delta L_{60} > 30 \%$	Продолжить реконструкцию (класс 1) Continue reconstruction (class 1)
		$\Delta L_{60} 15\text{--}30 \%$	Продолжить, но требуется интенсивный мониторинг (класс 2) Continue but monitor intensively (Class 2)
		$\Delta L_{60} < 15 \%$	Рассмотреть конверсию в ампутацию (класс 2 высокого риска) Consider conversion to amputation (high risk class 2)

ра» — массивного выброса кислых метаболитов из ишемизированной конечности в системный кровоток в момент восстановления кровотока. В условиях ПМГ, где лабораторные возможности ограничены, а времени на принятие решения критически мало, возникает острая потребность в простом, надежном и воспроизводимом алгоритме, позволяющем предсказать фатальность реперфузии до ее выполнения [20–25]. Предлагаемый алгоритм на основе ИМФ и классификации RIS-Q впервые дает количественный

ответ на вопрос, когда реконструкция спасает конечность, а когда убивает пациента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффект метаболического гашения представляет собой критическое истощение буферной емкости крови, при котором реперфузия превращается в летальный триггер. Порог гашения соответствует ИМФ > 45 в сочетании с MBT (100,0% летальность), что делает реконструкцию нецелесообразной и требует первичной ампутации. Класси-

фикация RIS-Q позволяет предсказать этот исход, а снижение уровня лактата менее чем на 15,0 % от максимального интраоперационного значения (ΔL_{60}) указывает на необходимость вторичной ампутации.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтных интересов, связанных с публикацией данной статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Moore FA, Moore EE. Evolving concepts in the pathogenesis of postinjury multiple organ failure. *Surg Clin North Am*. 1995;75(2):257-77. DOI: 10.1016/s0039-6109(16)46587-4.
- Keel M, Trentz O. Pathophysiology of polytrauma. *Injury*. 2005;36(6):691-709. DOI: 10.1016/j.injury.2004.12.037.
- Kazantsev AN, Chernykh KP, Bagdavadze GSh, Zarkua NE, Kalinin EYu, Artyukhov SV, et al. Express isolation of the popliteal artery according to A. N. Kazantsev in acute thrombosis during the course of COVID-19. *Russian Journal of Cardiology*. 2021;26(5):113-120. DOI: 10.15829/1560-4071-2021-4413. Russian (Казанцев А. Н., Черных К. П., Багдавадзе Г. Ш., Заркуа Н. Э., Калинин Е. Ю., Артюхов С. В. и др. Экспресс-выделение подколенной артерии по А. Н. Казанцеву при остром тромбозе на фоне течения COVID-19 // Российский кардиологический журнал. 2021. Т. 26, № 5. С. 113-120. DOI: 10.15829/1560-4071-2021-4413.)
- Artemova AS, Ivanov MA, Uryupina AA, Gorovaya AD. Causes of hyperperfusion syndrome after carotid endarterectomy. *Almanac of the A.V. Vishnevsky Institute of Surgery*. 2018;(1):243-244. Russian (Артемова А. С., Иванов М. А., Урюпина А. А., Горовая А. Д. Причины развития гиперперфузионного синдрома после каротидной эндартэктомии // Альманах Института хирургии им. А.В.Вишневского. 2018. № 1. С. 243-244.)
- Drobotov VN. Treatment of open compression injury of the limb (clinical and experimental study). *General Resuscitation*. 2008;4(2):20-24. Russian (Дроботов В. Н. Лечение открытой компрессионной травмы конечности (клинико-экспериментальное исследование) // Общая реаниматология. 2008. Т. 4, № 2. С. 20-24.)
- Blaisdell FW. The pathophysiology of skeletal muscle ischemia and the reperfusion syndrome: a review. *Cardiovasc Surg*. 2002;10(6):620-30. DOI: 10.1177/096721090201000620.
- Eltzschig HK, Eckle T. Ischemia and reperfusion—from mechanism to translation. *Nat Med*. 2011;17(11):1391-401. DOI: 10.1038/nm.2507.
- Granger DN, Kvietys PR. Reperfusion injury and reactive oxygen species: The evolution of a concept. *Redox Biol*. 2015;6:524-551. DOI: 10.1016/j.redox.2015.08.020.
- Collard CD, Gelman S. Pathophysiology, clinical manifestations, and prevention of ischemia-reperfusion injury. *Anesthesiology*. 2001;94(6):1133-8. DOI: 10.1097/00005542-200106000-00030.
- Ignatiadis IA, Tsiampa VA, Arapoglou DK, Dasakalakis EG, Polyzois VD, Fandridis EM. Current and traditional reconstructive techniques for bone diaphyseal defects: selection criteria, advantages, outcomes. A study of 24 cases. *J Hand Microsurg*. 2026;18(4):100465. DOI: 10.1016/j.jham.2026.100465.
- Ly TV, Trivison TG, Castillo RC, Bosse MJ, MacKenzie EJ. Ability of lower-extremity injury severity scores to predict functional outcome after limb salvage. *J Bone Joint Surg Am*. 2008;90(8):1738-43. DOI: 10.2106/JBJS.G.00136.
- He G, Yi T, Deng J, Wei L, Lu H, Lin X, et al. Successful reperfusion for better outcomes in medium vessel occlusion: penumbral salvage versus infarct volume reduction. *Eur Stroke J*. 2026; 11(1): 23969873251360492. DOI: 10.1093/esj/23969873251360492.
- Shaharudin NAS, Dunseath O, Azmi NA, Aun NY, Foley A. Strategies for assessment and decision making in complex limb fracture management: a review. *Cureus*. 2025;17(11):e97913. DOI: 10.7759/cureus.97913.
- Gupta A, Parikh S, Rajasekaran RB, Dheenadhayalan J, Devendra A, Rajasekaran S. Comparing the performance of different open injury scores in predicting salvage and amputation in type IIIB open tibia fractures. *Int Orthop*. 2020;44(9):1797-1804. DOI: 10.1007/s00264-020-04538-5.
- Knaus WA, Draper EA, Wagner DP, Zimmerman JE. APACHE II: a severity of disease classification system. *Crit Care Med*. 1985; 13(10):818-29.
- Vincent JL, Moreno R, Takala J, Willatts S, De Mendonça A, Bruining H, et al. The SOFA (Sepsis-related Organ Failure Assessment) score to describe organ dysfunction/failure. *Intensive Care Med*. 1996;22(7):707-10. DOI: 10.1007/BF01709751.
- Hayfron-Benjamin CF, Quartey-Papafio TR, Kissi-Prah A, Grant DD, Amo-Nyarko T, Bruce ANK, et al. Validation of intensive care unit predictive scoring systems in West Africans. *MethodsX*. 2026; 16:103817. DOI: 10.1016/j.mex.2026.103817.
- Li Z, Li P, Peng T, Zhou X, Liu Y, Ai C, et al. Indole-3-carboxaldehyde from *Limosilactobacillus reuteri* targets the DUSP1/ERK/NOX2/ROS axis to enhance the bactericidal activity of macrophages and protects against sepsis. *Gut Microbes*. 2026;18(1):2671382. DOI: 10.1080/19490976.2026.2671382.
- Haimovici H. Proceedings: myopathic-nephrotic-metabolic syndrome associated with massive acute arterial occlusions. *J Cardiovasc Surg (Torino)*. 1973;14(6):589-600.
- Tenishev RR, Kazantsev AN, Belay ZhM, Shishkin AG, Koshil YuE, Yakimavichus RP, et al. Results of surgical treatment of patients with false aneurysms of peripheral arteries in a military field hospital of a special military operation zone. *Russian Journal of Cardiology*. 2025;30(S10):67-73. doi: 10.15829/1560-4071-2025-6477. Russian (Тенишев Р. Р., Казанцев А. Н., Беляй Ж. М., Шишкин А. Г., Кошиль Ю. Е., Якимавичус Р. П. и др. Результаты хирургического лечения пациентов с ложными аневризмами периферических артерий в военно-полевом госпитале зоны специальной военной операции // Российский кардиологический журнал. 2025. Т. 30, № S10. С. 67-73. DOI: 10.15829/1560-4071-2025-6477.)

21. Kholmatov VN, Kazantsev AN, Bolibok NV, Belyay ZhM, Tenishev RR, Gaptrakipov IKh. Surgical treatment of a mine blast wound with the formation of a false aneurysm of the popliteal artery in a military field hospital in a special military operation zone. *Polytrauma*. 2025;(3):44-50. DOI: 10.24412/1819-1495-2025-3-44-50. Russian (Холматов В. Н., Казанцев А. Н., Болибок Н. В., Беляй Ж. М., Тенишев Р. Р., Гаптракипов И. Х. Хирургическое лечение минновзрывного ранения с формированием ложной аневризмы подколенной артерии в условиях военно-полевого госпиталя зоны специальной военной операции // Политравма. 2025. № 3. С. 44–50. DOI: 10.24412/1819-1495-2025-3-44-50.)
22. Galstyan ASH, Musailov VA, Starokon PM, Kim IYu. Gunshot wound in modern armed conflict (literature review). *Military Medical Journal*. 2026;347(3):51-57. DOI: 10.52424/00269050_2026_347_3_51. Russian (Галстян А. Ш., Мусаилов В. А., Староконь П. М., Ким И. Ю. Огнестрельная рана в современном вооруженном конфликте (обзор литературы) // Военно-медицинский журнал. 2026. Т. 347, № 3. С. 51–57. DOI: 10.52424/00269050_2026_347_3_51.)
23. Trishkin DV. Results of the activities of the medical service of the Armed Forces of the Russian Federation in 2025 and tasks for 2026. *Military Medical Journal*. 2026;347(1):4-16. DOI: 10.52424/00269050_2026_347_1_4. Russian (Тришкин Д. В. Итоги деятельности медицинской службы Вооруженных Сил Российской Федерации в 2025 году и задачи на 2026 год // Военно-медицинский журнал. 2026. Т. 347, № 1. С. 4–16. DOI: 10.52424/00269050_2026_347_1_4.)
24. Kharchenko OYu, Kazantsev AN, Alekseev OV, Makhmudov RM, Kholmatov VN, Tenishev RR. Removal of a false post-traumatic aneurysm of the axillary artery in the conditions of a separate medical airmobile detachment of the special military operation zone. *Pirogov Journal*. 2025;(6):122-127. DOI: 10.17116/hirurgia2025061122. Russian (Харченко О. Ю., Казанцев А. Н., Алексеев О. В., Махмудов Р. М., Холматов В. Н., Тенишев Р. Р. Удаление ложной посттравматической аневризмы подмышечной артерии в условиях отдельного медицинского аэромобильного отряда зоны специальной военной операции // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2025. № 6. С. 122–127. DOI: 10.17116/hirurgia2025061122.)
25. Kazantsev AN, Vshivkov KN, Popov AA, Bushlanov PS, Gaptrakipov IK, Pavlenko NA, et al. False aneurysm and arteriovenous fistula between the popliteal artery and popliteal vein one year after a shrapnel wound: surgical reconstruction in a military field hospital in a special military operation zone. *Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine* 2025;40(4):220-226. DOI: 10.29001/2073-8552-2025-40-4-220-226. Russian (Казанцев А. Н., Вшивков К. Н., Попов А. А., Бушланов П. С., Гаптракипов И. Х., Павленко Н. А., и др. Ложная аневризма и артериовенозная фистула между подколенной артерией и подколенной веной спустя год после осколочного ранения: хирургическая реконструкция в условиях военно-полевого госпиталя зоны специальной военной операции // Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины. 2025. Т. 40, № 4. С. 220–226. DOI: 10.29001/2073-8552-2025-40-4-220-226.)
26. Esipov AV, Alekhnovich AV, Frokin MN. Experience in the treatment of combat trauma and surgical infection. *Military Medical Journal*. 2024;345(10):91-94. DOI: 10.52424/00269050_2024_345_10_91. Russian (Есипов А. В., Алехнович А. В., Фролкин М. Н. Опыт лечения боевой травмы и хирургической инфекции // Военно-медицинский журнал. 2024. Т. 345, № 10. С. 91–94. DOI: 10.52424/00269050_2024_345_10_91.)

Сведения об авторах:

Казанцев Антон Николаевич (автор для переписки) — военный врач 135 отдельного медицинского батальона Минобороны России; г. Владикавказ, Россия. <https://orcid.org/0000-0002-1115-609X>. E-mail: dr.antonio.kazantsev@mail.ru

Плищук Роман Игоревич — военный врач 135 отдельного медицинского батальона Минобороны России; г. Владикавказ, Россия. <https://orcid.org/0009-0009-3293-6229>. E-mail: nastjuha@inbox.ru

Сюсюра Валентин Андреевич — военный врач 135 отдельного медицинского батальона Минобороны России; г. Владикавказ, Россия. <https://orcid.org/0009-0000-6461-8510>. E-mail: sushkovalantine@yandex.ru

Погорелов Максим Юрьевич — военный врач 135 отдельного медицинского батальона Минобороны России; г. Владикавказ, Россия. <https://orcid.org/0009-0007-0568-3620>. E-mail: doctor.pogorelov@list.ru

Ионов Михаил Михайлович — военный врач 135 отдельного медицинского батальона Минобороны России; г. Владикавказ, Россия. <https://orcid.org/0009-0000-3850-0156>. E-mail: ionovmm@mail.ru

Солдатов Павел Андреевич — военный врач 135 отдельного медицинского батальона Минобороны России; г. Владикавказ, Россия. <https://orcid.org/0009-0000-2672-6270>. E-mail: soldpasha@yandex.ru

Магомедов Магомед Магомедгабирович — военный врач 135 отдельного медицинского батальона Минобороны России; г. Владикавказ, Россия. <https://orcid.org/0000-0002-1436-3967>. E-mail: Albor200@mail.ru

Information about authors:

Kazantsev Anton Nikolaevich (author for correspondence) — military physician, 135th Separate Medical Battalion of the Russian Ministry of Defense; Vladikavkaz, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-1115-609X>. E-mail: dr.antonio.kazantsev@mail.ru

Plishchuk Roman Igorevich — military physician, 135th Separate Medical Battalion of the Russian Ministry of Defense; Vladikavkaz, Russia. <https://orcid.org/0009-0009-3293-6229>. E-mail: nastjuha@inbox.ru

Syusyura Valentin Andreevich — military physician, 135th Separate Medical Battalion of the Russian Ministry of Defense; Vladikavkaz, Russia. <https://orcid.org/0009-0000-6461-8510>. E-mail: sushkovalantine@yandex.ru

Pogorelov Maxim Yuryevich — military physician, 135th Separate Medical Battalion of the Russian Ministry of Defense; Vladikavkaz, Russia. <https://orcid.org/0009-0007-0568-3620>. E-mail: doctor.pogorelov@list.ru

Ionov Mikhail Mikhailovich — military physician, 135th Separate Medical Battalion of the Russian Ministry of Defense; Vladikavkaz, Russia. <https://orcid.org/0009-0000-3850-0156>. E-mail: ionovmm@mail.ru

Soldatov Pavel Andreevich — military physician, 135th Separate Medical Battalion of the Russian Ministry of Defense; Vladikavkaz, Russia. <https://orcid.org/0009-0000-2672-6270>. E-mail: soldpasha@yandex.ru

Magomedov Magomed Magomedgabibovich — military physician, 135th Separate Medical Battalion of the Russian Ministry of Defense; Vladikavkaz, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-1436-3967>. E-mail: Albor200@mail.ru

Карпов Павел Павлович — военный врач 135 отдельного медицинского батальона Минобороны России; г. Владикавказ, Россия. <https://orcid.org/0000-0002-8379-0807>. E-mail: karpPP123@mail.ru

Ильясов Муслим Абуталипович — военный врач 135 отдельного медицинского батальона Минобороны России; г. Владикавказ, Россия. <https://orcid.org/0009-0006-9479-3188>.

E-mail: muslim.ilyasov.2017@mail.ru

Статья поступила в редакцию 21.05.2026

Рецензирование пройдено 30.06.2026

Подписано в печать 31.08.2026

Karpov Pavel Pavlovich — military physician, 135th Separate Medical Battalion of the Russian Ministry of Defense; Vladikavkaz, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-8379-0807>. E-mail: karpPP123@mail.ru

Ilyasov Muslim Abutalipovich — military physician, 135th Separate Medical Battalion of the Russian Ministry of Defense; Vladikavkaz, Russia. <https://orcid.org/0009-0006-9479-3188>.

E-mail: muslim.ilyasov.2017@mail.ru

Received 21.05.2026

Review completed 30.06.2026

Passed for printing 31.08.2026



ОСОБЕННОСТИ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ У ЛИЦ ПОЖИЛОГО И СТАРЧЕСКОГО ВОЗРАСТА НА ФОНЕ ХРОНИЧЕСКОГО ВЕРТЕБРОГЕННОГО БОЛЕВОГО СИНДРОМА

FEATURES OF AUTONOMIC REGULATION OF THE CIRCULATORY SYSTEM IN ELDERLY AND SENILE PATIENTS WITH CHRONIC VERTEBROGENIC PAIN SYNDROME

Иванова А.А.
Кузьмина Е.Е.

Ivanova A.A.
Kuzminova E.E.

ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна»
Минздрава России,
г. Новосибирск, Россия

Novosibirsk Research Institute
of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan,
Novosibirsk, Russia

Частота встречаемости хронического болевого синдрома у лиц пожилого и старческого возраста может достигать 83,9 %, при этом дегенеративное поражение позвоночника — одна из наиболее частых причин хронической боли. Характерной чертой людей пожилого и старческого возраста является наличие разнообразной соматической патологии. Значимое влияние на адаптацию функции миокарда и гемодинамику оказывает состояние вегетативной нервной системы, для оценки которой используют анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР).

Цель исследования — оценить особенности вегетативной регуляции системы кровообращения у пациентов пожилого и старческого возраста с хроническим вертеброгенным болевым синдромом перед плановым хирургическим лечением.

Материалы и методы. В пилотное исследование вошли 30 пациентов пожилого и старческого возраста, поступивших для планового хирургического лечения дегенеративных заболеваний позвоночника. Был оценен уровень болевого синдрома с применением визуально-аналоговой шкалы (ВАШ), в положении лежа измерялись артериальное давление (АД) и частота сердечных сокращений (ЧСС). Производились также запись ВСР 5 минут лежа, затем 5 минут стоя и повторное измерение АД и ЧСС.

Результаты. Интенсивность болевого синдрома у обследованных пациентов по шкале ВАШ составила 4,0 [3,0; 5,0] балла. В состоянии покоя зарегистрирован вегетативный баланс, после проведения ортостатической пробы отмечено статистически значимое увеличение значений АД и изменение показателей ВСР, отражающих тенденцию к симпатикотонии. В показателях LF/HF и SI отмечена лишь тенденция увеличения.

Заключение. У пациентов с хроническим болевым синдромом пожилого и старческого возраста с дегенеративными заболеваниями позвоночника в покое зарегистрирован баланс звеньев вегетативной регуляции, при ортостатической пробе отмечена тенденция к симпатикотонии. Необходимы дальнейшие исследования на большей выборке пациентов с включением в дизайн изучения препаратов, принимаемых пациентами.

Ключевые слова: дегенеративные заболевания позвоночника, болевой синдром, вариабельность сердечного ритма, гемодинамика

The prevalence of chronic pain syndrome in elderly and senile patients can reach 83.9 %, with degenerative spinal disease being one of the most common causes of chronic pain. A characteristic feature of the elderly is the presence of various somatic pathologies. The state of the autonomic nervous system, assessed using heart rate variability (HRV) analysis, significantly influences myocardial function adaptation and hemodynamics.

Objective — to evaluate the features of autonomic regulation of the circulatory system in elderly and senile patients with chronic vertebro-genic pain syndrome before elective surgery.

Materials and methods. The pilot study included 30 elderly and senile patients admitted for elective surgical treatment of degenerative spinal diseases. Pain was assessed using a Visual Analogue Scale (VAS). Blood pressure (BP) and heart rate (HR) were measured in the supine position, and HRV was recorded for 5 minutes while lying, followed by 5 minutes of HRV recording while standing, and then repeated BP and HR measurements.

Results. The intensity of pain syndrome in the examined patients according to VAS was 4.0 [3.0; 5.0] points. At rest, the autonomic balance was recorded, and after the orthostatic test, a statistically significant increase in blood pressure and a change in HRV parameters reflecting a tendency toward sympathicotonia were noted. The LF/HF ratio and SI parameters showed only an increasing trend.

Conclusion. In elderly and senile patients with chronic pain syndrome and degenerative spinal diseases, a balance of autonomic regulation was observed at rest, with a tendency toward sympathicotonia observed during orthostatic testing. Further studies are needed on a larger sample of patients, including the account for medications taken by the patients.

Keywords: degenerative diseases of the spine, pain syndrome, heart rate variability, hemodynamics

Для цитирования: Иванова А.А., Кузьмина Е.Е. ОСОБЕННОСТИ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ У ЛИЦ ПОЖИЛОГО И СТАРЧЕСКОГО ВОЗРАСТА НА ФОНЕ ХРОНИЧЕСКОГО ВЕРТЕБРОГЕННОГО БОЛЕВОГО СИНДРОМА //ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2026. № 3. С. 24-30.

Режим доступа: <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/700>

DOI: 10.24412/1819-1495-2026-3-24-30

Частота встречаемости хронического болевого синдрома у лиц пожилого и старческого возраста колеблется от 40,0 до 60,0 % [1], по некоторым сведениям достигая 81,1–83,9% [2, 3]. Хроническая боль не только снижает качество жизни, но и ассоциирована с когнитивной дисфункцией и преждевременной смертью [4–6]. Дегенеративное поражение позвоночника является одной из наиболее частых причин хронического болевого синдрома [7]. Кроме того, для людей пожилого и старческого возраста характерно наличие разнообразной соматической патологии, в первую очередь — сердечно-сосудистых заболеваний различной стадии и степени компенсации [8].

Известно, что значимое влияние на адаптацию системы кровообращения оказывает состояние вегетативной нервной системы (ВНС), для оценки которой используют вариабельность сердечного ритма (BCP) [9–11]. Согласно имеющимся данным, дисбаланс ВНС, а именно снижение активности симпатического компонента, связан с увеличением риска развития сердечной недостаточности у пожилых людей [12].

Цель исследования — оценить особенности вегетативной регуляции системы кровообращения у пациентов пожилого и старческого возраста с хроническим вертеброгенным болевым синдромом перед плановым хирургическим лечением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В пилотное исследование, выполненное с февраля по март 2026 года, вошли 30 пациентов пожилого и старческого возраста, поступивших для планового хирургического лечения дегенеративных заболеваний позвоночника в ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России (выписка № 002/26 из протокола 001/26 от 13.04.2026). Все пациенты подписали информированное добровольное согласие.

Критерии включения: возраст 60 лет и старше, возможность вертикализироваться, согласие на участие в исследовании, наличие хронической соматической патологии в стадии компенсации. Критерии невключения: возраст менее 60 лет, отказ от участия в

исследовании, невозможность принять вертикальное положение. Критерии исключения: отказ от продолжения исследования, ухудшение самочувствия в процессе исследования.

Пациентам предлагалось оценить уровень болевого синдрома, который они испытывали на момент исследования, с применением 10-балльной визуально-аналоговой шкалы (ВАШ). У всех обследованных длительность болевого синдрома превышала 3 месяца, что позволило классифицировать испытываемую боль как хроническую. Преобладающей локализацией дегенеративного поражения позвоночника был поясничный отдел (28 пациентов, 93 %), 2 пациентам (7 %) было запланировано хирургическое лечение остеохондроза шейного отдела позвоночника.

В положении лежа неинвазивным способом измерялись артериальное давление (АД) и частота сердечных сокращений (ЧСС). Кроме того, также в положении лежа осуществлялась запись BCP в течение 5 минут с использованием аппарата «ВНС-микро» (программное обеспечение «Поли-Спектр. NET», Нейрософт, Россия). Затем пациенты принимали вертикальное положение, и запись BCP продолжалась еще в течение 5 минут.

Оценивались следующие параметры: HR (частота сердечных сокращений, уд. в мин.), RRNN (средняя длительность интервалов R–R, мс), SDNN (стандартное отклонение величин нормальных интервалов R–R, мс), pNN50 (процент последовательных пар интервалов, различающихся более чем на 50 мс в течение всей записи, %), TP (общая мощность спектра, мс²), VLF (волны очень низкой частоты, мс²), LF (волны низкой частоты, мс²), HF (волны высокой частоты, мс²), LF/HF (соотношение симпатического и парасимпатического компонентов), Mo (мода, отражающая доминирующее состояние синусового узла, с), SI (стресс-индекс), IBP (индекс вегетативного равновесия).

По окончании обследования пациенты присаживались на кровать, после чего выполнялось повторное измерение АД и ЧСС. Отклонение от стандартной процедуры оценки гемодинамики в положении стоя было обусловлено необходимостью минимизации помех при 5-минутной регистрации BCP. Ввиду преклонного возраста исследуемых и наличия сопутствующего

болевого синдрома, пациенты нередко испытывали напряжение и утомление во время второго этапа исследования. Для предотвращения дискомфорта методика была модифицирована: регистрацию АД и ЧСС проводили немедленно после присаживания пациентов на кровать, что позволило зафиксировать показатели, максимально приближенные к ортостатическим, и избежать искажения данных.

Наиболее часто встречающимися препаратами, применяемыми для лечения сопутствующей терапевтической патологии у исследуемых пациентов, были нестероидные противовоспалительные средства, пероральные гипогликемические препараты, бета-адреноблокаторы, антагонисты рецепторов ангиотензина II, комбинированные антигипертензивные средства, блокаторы кальциевых каналов, антиагреганты, ингибиторы ангиотензинпревращающего фермента и статины. Отмечены также более редкие назначения тиазидных диуретиков, антикоагулянтов, агонистов имидазолиновых рецепторов, бронхолитических препаратов, ингибиторов протеинкиназ, гормонов щитовидной железы и бета-адреномиметиков.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием базовых пакетов языка R (версия 4.4.2). Согласно критерию Шапиро — Уилка, нормальному закону распределения соответствовали только 15 (33 %) из 46 изученных переменных, а также 6 (27 %) из 22 пар показателей одновременно в фоновом состоянии и при ортостатической пробе. В связи с этим количественные данные описывали с помощью медианы (Me) и интерквартильного интервала [Q1; Q3]. Сравнение показателей в различных состояниях (положение стоя/лежа) выполняли с помощью двустороннего парного непараметрического критерия Вилкоксона. Для оценки абсолютной средней разницы между режимами рассчитывали псевдомедиану парных разностей с 95% доверительным интервалом (95% ДИ). Для выявления взаимосвязей между парами количественных признаков рассчитывали ранговый коэффициент корреляции Спирмена (r) и строили диаграммы рассеяния.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Медиана возраста пациентов составила 68,0 [66,0; 70,0] лет, интенсивность

болевого синдрома по шкале ВАШ — 4,0 [3,0; 5,0] балла. Индекс коморбидности Чарлсона был равен 1,5 [1,0; 2,0]. Динамика исследуемых показателей в покое и при проведении активной ортостатической пробы представлена в таблице.

При оценке показателей в покое и после вертикализации отмечено статистически значимое увеличение систолического и диастолического АД, а также изменение временных параметров ВСП: увеличение ЧСС и снижение RRNN, SDNN и Mo. Кроме того, зарегистрирована статистически значимая динамика ИВР, отражающая усиление симпатического влияния. При анализе корреляционных связей интенсивности болевого синдрома по шкале ВАШ выявлена умеренная обратная корреляционная зависимость с диастолическим АД в покое ($r = -0,37$, $p = 0,047$) и после вертикализации ($r = -0,48$, $p = 0,007$), а также со средним АД после вертикализации ($r = -0,39$, $p = 0,034$). Кроме того,

обнаружена умеренная прямая корреляционная связь интенсивности боли по ВАШ с показателем VLF в состоянии покоя ($r = 0,41$, $p = 0,023$) и с SDNN в покое ($r = 0,48$, $p = 0,007$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Вегетативная регуляция играет значимую роль не только в контроле системы кровообращения, но и в ноцицепции [13]. Ранее метод ВСП уже успешно применялся исследователями для объективной оценки интенсивности болевого синдрома [14].

Известно, что хроническая боль, являющаяся частым спутником дегенеративных заболеваний позвоночника, приводит к чрезмерной активации симпатической нервной системы и тем самым повышает риск развития сердечно-сосудистой патологии и преждевременной смерти [15]. Однако в нашем исследовании у гериатрических пациентов зарегистрирован относительный баланс симпатического

и парасимпатического звеньев ВНС (LF/HF = 1,025).

Полученные результаты можно объяснить тем, что все больные получали медикаментозную терапию для купирования болевого синдрома, а также препараты по поводу сопутствующей соматической патологии. Это, вероятно, нивелировало изолированное влияние боли на вегетативный статус. Сходными причинами можно обосновать и отсутствие корреляционной зависимости между значениями ВАШ и показателями, отражающими значимый вклад надсегментарного уровня и симпатической нервной системы в регуляторную функцию ВНС, хотя подобные взаимосвязи были ранее зарегистрированы другими авторами [16].

Тем не менее нами получена статистически значимая обратная корреляционная зависимость интенсивности боли по ВАШ с диастолическим АД в покое, а также с диастолическим и средним АД после вертикализации.

Таблица
Динамика исследуемых показателей
Table
Dynamics of the studied indicators

Показатель Indicator	Фон Baseline, Me [Q1; Q3]	Ортостатическая проба Orthostatic test, Me [Q1; Q3]	Оценка различий Assessment of differences, PM [95% ДИ / CI]	Критерий Вилкоксона, p Wilcoxon test, p
Систолическое артериальное давление (АД), мм рт. ст. Systolic blood pressure (BP), mmHg	138.0 [126.5; 144.0]	140.0 [131.0; 148.3]	-4.0 [-4.5; -3.5]	0.005*
Диастолическое АД, мм рт. ст. Diastolic BP, mmHg	79.0 [74.0; 83.8]	83.5 [75.5; 86.0]	-3.0 [-3.5; -2.5]	0.022*
АД среднее, мм рт. ст. Mean AP, mmHg	97.6 [91.2; 103.6]	100.3 [98.2; 106.0]	-3.3 [-3.7; -3.2]	0.004*
Частота сердечных сокращений, уд. в мин Heart rate, b.p.m.	66.5 [63.3; 70.0]	65.5 [63.0; 71.8]	0.1 [0.0; 0.5]	0.879
HR, уд. в мин / HR, b.p.m.	69.4 [63.7; 73.4]	80.1 [72.2; 87.8]	-10.5 [-11.1; -10.2]	< 0.001*
RRNN, мс / RRNN, ms	864.5 [817.0; 942.8]	748.5 [683.8; 830.8]	115.0 [111.0; 118.5]	< 0.001*
SDNN, мс / SDNN, ms	81.0 [49.5; 116.0]	41.0 [27.5; 89.0]	21.5 [19.0; 23.0]	0.018*
pNN50, %	6.6 [2.9; 16.1]	3.7 [1.2; 28.1]	0.8 [0.3; 1.5]	0.491
TP, мс ² / TP, ms ²	7053.0 [1633.3; 20390.5]	2645.0 [849.5; 13920.3]	-204.2 [-966.5; 276.0]	0.903
VLF, мс ² / VLF, ms ²	1162.5 [473.8; 3395.0]	911.0 [350; 3592.3]	-530.2 [-762.5; -239.5]	0.349
LF, мс ² / LF, ms ²	2417.5 [563.0; 7856.3]	479.5 [184.0; 5092.0]	40.0 [-139.5; 202.5]	0.968
HF, мс ² / HF, ms ²	2835.0 [507.8; 11931.8]	959.5 [96.0; 6440.0]	-39.0 [-444.5; 140.5]	> 0.999
LF/HF	1.0 [0.6; 1.6]	1.8 [0.4; 4.2]	-1.1 [-1.2; -0.9]	0.086
Mo, с / Mo, s	0.9 [0.8; 0.9]	0.7 [0.6; 0.9]	0.12 [0.1; 0.1]	< 0.001*
SI	60.6 [22.2; 132.9]	135.5 [46.4; 243.1]	-46.5 [-56.4; -37.7]	0.070
Индекс вегетативного равновесия Vegetative balance index	66.7 [37.3; 105.7]	117.3 [69.3; 260.9]	-82.9 [-90.5; -74.1]	0.002*

Примечание. * Различия статистически значимы ($p < 0,05$), PM — псевдомедиана парных разностей.

Note. * Differences are statistically significant ($p < 0.05$), PM — the pseudomedian of paired differences.

Кроме того, отмечена прямая корреляционная связь значений ВАШ с мощностью спектра VLF, что косвенно свидетельствует о вкладе симпатического компонента в вегетативную регуляцию. По-видимому, это обусловлено тем, что у ряда пациентов интенсивность боли на момент осмотра была высокой, что позволяет сопоставить ее с острой болью.

Многогранная природа болевого синдрома в зависимости от его продолжительности подчеркивается исследователями, изучавшими ВСР при острой боли [17]. В этих работах была обнаружена значимая положительная связь между интенсивностью болевых ощущений и параметрами ВСР. Данный факт позволяет предположить, что взаимосвязь между болью и ВСР динамична и принципиально различается при остром и хроническом процессах, поскольку выраженность хронической боли ассоциирована либо со снижением мощности HF, либо с увеличением соотношения LF/HF [18].

Согласно имеющимся данным, стимуляция барорецепторов при повышении АД не только угнетает активность спинальных нейронов, но и запускает нисходящие антиноцицептивные механизмы. Это способствует формированию обратной зависимости между уровнем АД в покое и интенсивностью острой боли [15]. В нашем исследовании эта взаимосвязь нашла свое отражение в корреляции не только с уровнями диастолического АД в покое, но и с его показателями после вертикализации.

Одним из ключевых методов тестирования функционального состояния системы кровообращения является ортостатическая проба. При смене положения тела из горизонтального в вертикальное главным триггером, воздействующим на гемодинамику, выступает гравитация. При нарушении работы сердца и сосудов, а также при дефиците адаптационных резервов вертикализация становится для организма выраженным стрессогенным событием [19].

Хорошо известно, что при переходе в вертикальное положение происходит кратковременное снижение АД, запускающее рефлекторное увеличение ЧСС и периферическую вазоконстрикцию. После этой острой фазы систолическое и диастолическое АД обычно немного повышается по сравнению с

исходными значениями в положении лежа на спине.

Реакция вегетативной нервной системы на ортостаз начинается с мгновенного снижения тонуса блуждающего нерва, за которым следуют активация симпатического звена и последующая реактивация блуждающего нерва в течение первых 25–30 сердечных сокращений. Таким образом, ЧСС увеличивается сразу после подъема пациента, достигая пика к 15–20-му удару. В положении стоя также закономерно снижаются показатели ВСР, отражающие активность парасимпатического отдела ВНС, по сравнению с положением лежа [20].

В нашем исследовании при вертикализации пациентов зарегистрированы статистически значимые изменения, свидетельствующие об активации симпатического отдела ВНС: увеличение показателей АД, ИВР, интегрального параметра HR, а также снижение RRNN и Мо. При этом отсутствие значимых изменений мануально измеряемой ЧСС свидетельствует о стабилизации пульса к концу пробы. Это объясняется тем, что регистрация данного параметра производилась по истечении 5 минут нахождения пациентов в положении стоя (непосредственно после присаживания на кровать), тогда как показатель HR отражает среднюю частоту сокращений на протяжении всего периода ортостаза. Динамика показателей LF/HF и SI, также косвенно передающая информацию о напряжении симпатического отдела (рис. 1 и 2), указывает на тенденцию к активизации симпатической нервной системы при переходе в положение стоя, которая в данном исследовании не достигла статистической значимости.

Немногочисленные установленные корреляционные связи параметров гемодинамики и ВСР также подтверждают вклад симпатического звена в вегетативную регуляцию кровообращения у исследуемых пациентов. В частности, выявлены умеренные прямые связи между систолическим АД в покое и мощностью LF в ортостазе ($r = 0,44$; $p = 0,014$), а также между исходным соотношением LF/HF и ортостатическими показателями диастолического АД ($r = 0,40$; $p = 0,029$) и среднего АД ($r = 0,37$; $p = 0,045$).

Имеются данные о том, что снижение показателей SDNN < 50 мс и pNN50 < 4 % у пациентов с инфарктом

миокарда служит маркером неблагоприятного исхода заболевания [21]. У больных, включенных в наше исследование, после вертикализации медиана SDNN составила 41,0 мс, а pNN50 — 3,75 %. Статистически значимое снижение в сравнении с фоновым состоянием отмечено только для показателя SDNN. Данный факт позволяет предположить, что выраженное падение этого параметра в ортостазе может выступать предиктором неблагоприятных кардиоваскулярных событий в периперационном периоде.

Несомненными ограничениями нашей работы являются относительно малый объем выборки, а также отсутствие жесткого контроля принимаемых пациентами медикаментов (в том числе влияющих на сердечный ритм и сосудистый тонус) [22]. Большой межквартильный размах показателей TP, VLF, LF и HF подтверждает гетерогенность исследуемой группы, что может быть обусловлено различиями как в характере терапии сопутствующей соматической патологии, так и в длительности вертеброгенного болевого синдрома.

Пациенты пожилого и старческого возраста исходно входят в группу высокого риска по развитию интраоперационных гемодинамических расстройств (в частности, артериальной гипотензии и брадикардии) как на этапе индукции анестезии, так и в ходе самого хирургического вмешательства. Предоперационный мониторинг ВСР может способствовать своевременному выявлению лиц, имеющих риск возникновения подобных осложнений в периперационном периоде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У пациентов пожилого и старческого возраста с хроническим вертеброгенным болевым синдромом в состоянии покоя зарегистрирован относительный баланс отделов ВНС. При проведении активной ортостатической пробы у данной категории больных отмечается выраженная тенденция к симпатикотонии.

Для верификации полученных данных необходимы дальнейшие исследования на большем объеме выборки с обязательным включением в протокол анализа детального учета медикаментозной терапии, получаемой пациентами по поводу сопутствующей соматической патологии.

Рисунок 1
Динамика LF/HF при вертикализации пациентов
Figure 1
LF/HF dynamics during patient verticalization

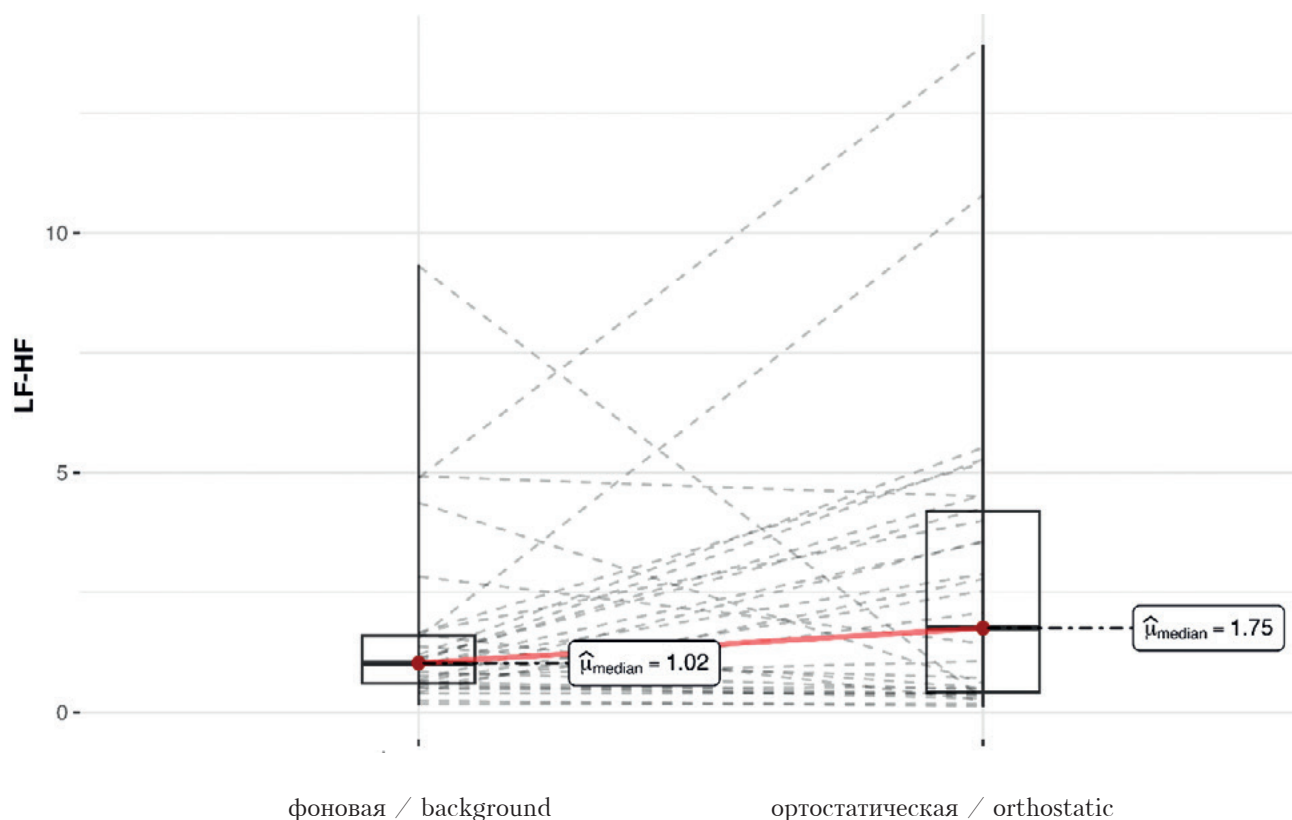
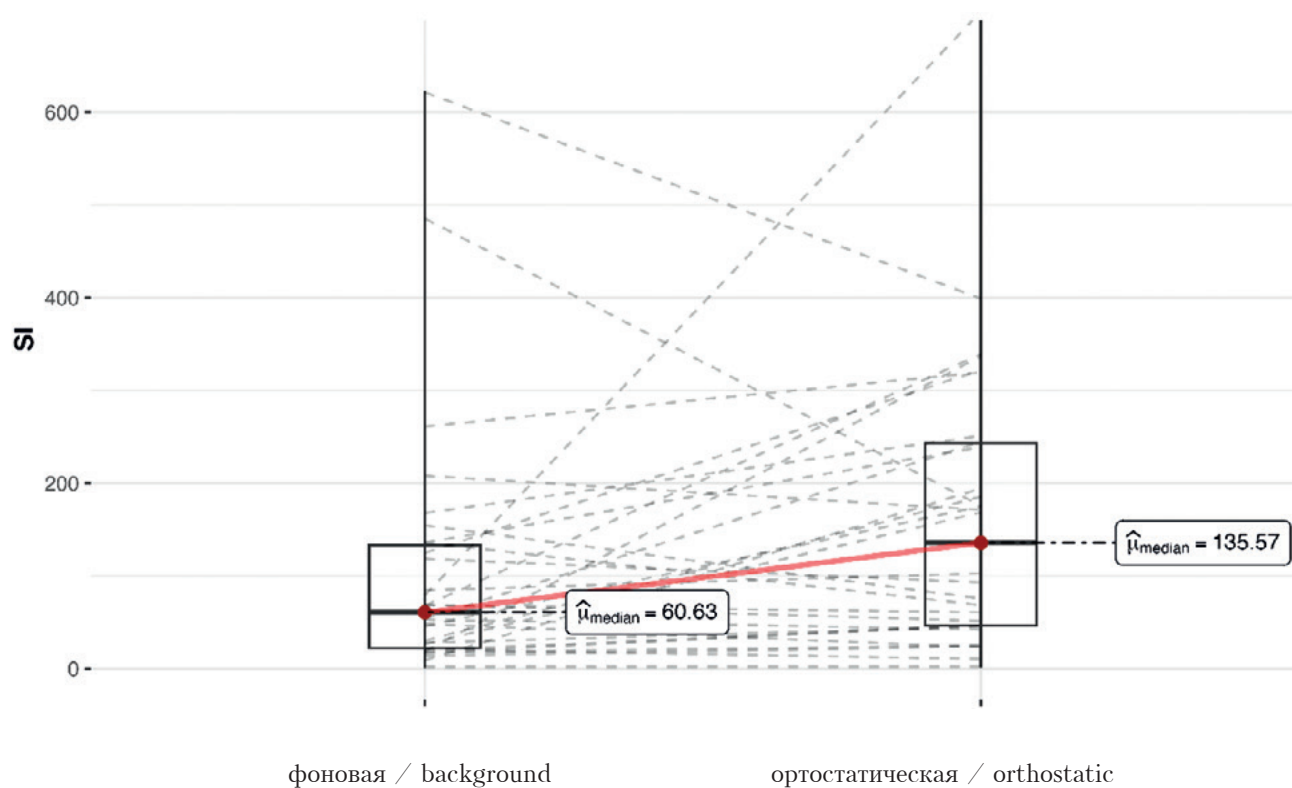


Рисунок 2
Динамика SI при вертикализации пациентов
Figure 2
SI dynamics during patient verticalization



Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Domenichiello AF, Ramsden CE. The silent epidemic of chronic pain in older adults. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*. 2019;93:284-90. DOI: 10.1016/j.pnpb.2019.04.006.
2. Naumov AV, Manevich TM, Khovasova NO, Moroz VI, Meshkov AD, Demenok DV, et al. Evaluation of the effect of chronic pain on the functional and physical status of patients in older age groups. *Modern Rheumatology Journal*. 2021;15(6):26-32. Russian (Наумов А. В., Маневич Т. М., Ховасова Н. О., Мороз В. И., Мешков А. Д., Деменок Д. В. др. Оценка влияния хронической боли на функциональный и физический статус пациентов старших возрастных групп // Современная ревматология. 2021. Т.15, №6. С. 26-32. DOI: 10.14412/1996-7012-2021-6-26-32.)
3. Vorobyeva NM, Khovasova NO, Tkacheva ON, Kotovskaya YuV, Selezneva EV, Ovcharova LN. Falls and fractures in subjects over 65 years old and their associations with geriatric syndromes: Russian epidemiological study EVKALIPT. *Russian Journal of Geriatric Medicine*. 2021;2(6):209-219. Russian (Воробьева Н. М., Ховасова Н. О., Ткачева О. Н., Котовская Ю. В., Селезнева Е. В., Овчарова Л. Н. Падения и переломы у лиц старше 65 лет и их ассоциации с гериатрическими синдромами: данные российского эпидемиологического исследования ЭВКАЛИПТ // Российский журнал гериатрической медицины. 2021. Т. 2, №6. С. 209-219. DOI: 10.37586/2686-8636-2-2021-209-219.)
4. Macfarlane GJ, Barnish MS, Jones GT. Persons with chronic widespread pain experience excess mortality: longitudinal results from UK Biobank and meta-analysis. *Ann Rheum Dis*. 2017;76(11):1815-1822. DOI: 10.1136/annrheumdis-2017-211476.
5. Whitlock EL, Diaz-Ramirez LG, Glymour MM, Boscardin WJ, Covinsky KE, Smith AK. Association between persistent pain and memory decline and dementia in a longitudinal cohort of elders. *JAMA Intern Med*. 2017; 177(8):1146-1153. DOI: 10.1001/jamainternmed.2017.1622.
6. Rajkumar AP, Ballard C, Fossey J, Orrell M, Moniz-Cook E, Woods RT, et al. Epidemiology of pain in people with dementia living in care homes: longitudinal course, prevalence, and treatment implications. *J Am Med Dir Assoc*. 2017;18(5):453.e1- 453.e6. DOI: 10.1016/j.jamda.2017.01.024.
7. Liberman O, Freud T, Peleg R, Keren A, Press Y. Chronic pain and geriatric syndromes in community-dwelling patients aged ≥65 years. *J Pain Res*. 2018;11:1171-1180. DOI: 10.2147/JPR.S160847.
8. Myakotnykh VS, Ostapchuk ES, Postovalova VL. The main diseases and syndromes identified in patients of elderly and senile age, hospitalized in the hospitals of a different profile. *The successes of gerontology*. 2018;31(2):250-259. Russian (Мякотных В. С., Остапчук Е. С., Постовалова В. Л. Основные заболевания и синдромы, выявленные у пациентов пожилого и старческого возраста, госпитализированных в стационары разного профиля // Успехи геронтологии. 2018. Т.31, № 2. С. 250-259.)
9. Olenko ES, Fomina EV, Kirichuk VF, Kodochigova AI, Yupatov VD, Konovalova AA. Assessment of system's adaptive reserves by indicators of heart rate variability in young men at the initial stages of university education. *Saratov Journal of Medical Scientific Research*. 2019;15 (3): 796-800. Russian (Оленко Е. С., Фомина Е. В., Киричук В. Ф., Кодочигова А. И., Юпатов В. Д., Коновалова А. А. Оценка адаптационных резервов организма по показателям вариабельности сердечного ритма у молодых мужчин на начальных этапах обучения в вузе // Саратовский научно-медицинский журнал. 2019. Т.15, №3. С. 796-800.)
10. Baig M, Moafi Madani M, Qureshi R, Roberts MB, Allison M, Manson JAE, et al. Heart rate variability and the risk of heart failure and its subtypes in post menopausal women: the women's health initiative study. *PLoS One*. 2022;17(10):e0276585. DOI: 10.1371/journal.pone.0276585.
11. de Andrade PE, Zangirolami-Raimundo J, Morais TC, De Abreu LC, Siqueira CE, Sorpreso ICE, et al. Cardiac behavior and heart rate variability in elderly hypertensive individuals during aerobic exercise: a non-randomized controlled study. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(2):1292. DOI: 10.3390/ijerph20021292.
12. Ostrowska B, Lind L, Blomström, Lundqvist C. An association between heart rate variability and incident heart failure in an elderly cohort. *Clin Cardiol*. 2024;47:e24241. DOI:10.1002/clc.24241.
13. Hohenschurz-Schmidt DJ, Calcagnini G, Dipasquale O, Jackson JB, Medina S, O'Daly O, et al. Linking pain sensation to the autonomic nervous system: the role of the anterior cingulate and periaqueductal gray resting-state networks. *Frontiers in Neuroscience*. 2020; 14:147. DOI: 10.3389/fnins.2020.00147.
14. Chernyaev SA, Novikov EM, Nagovitsyn AV, Kazantseva IV, Ardashov VN, Zhuravlev SV, et al. Analysis of heart rate variability in the assessment of pain syndrome. *Kremlin Medicine. Clinical Bulletin*. 2025;1:56-59. Russian (Черняев С. А., Новиков Е. М., Наговицын А. В., Казанцева И. В., Ардашев В. Н., Журавлев С. В. и др. Анализ вариабельности сердечного ритма в оценке болевого синдрома // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2025. №1. С. 56-59. DOI: 10.48612/cgma/h594-denv-7tu5.)
15. Reynolds CA, Minic Z. Chronic pain-Associated cardiovascular disease: the role of sympathetic nerve activity. *Int. J. Mol. Sci*. 2023;24(6): 5378. DOI: 10.3390/ijms24065378.
16. Barinova IA, Zorin RA, Kharlamov IV, Zhadnov VA. Clinical and neurophysiological characteristics of patients with compressive radiculopathies. *Science of the Young (Eruditio Juvenium)*. 2024;12(3):355-364. Russian (Баринова И. А., Зорин Р. А., Харламов И. В., Жаднов В. А. Клинико-нейрофизиологические характеристики пациентов с компрессионными радикулопатиями // Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2024. Т. 12, № 3. С. 355-364. DOI: 10.23888/HMJ2024123355-364.)
17. Steere KB, Langford DJ, Collins SM, Litwin B. The relationship of pain intensity, perceived injustice, and pain catastrophizing to heart rate variability in naturally occurring acute pain. *Clin J Pain*. 2024;40(12):716-725. DOI: 10.1097/AJP.0000000000001250.
18. Tracy LM, Ioannou L, Baker KS, Gibson SJ, Georgiou-Karistianis N, Giummarra MJ. Meta-analytic evidence for decreased heart rate variability in chronic pain implicating parasympathetic nervous system dysregulation. *Pain*. 2016;157(1):7-29. DOI: 10.1097/j.pain.0000000000000360.
19. Belyaeva VA. Heart rate variability in young adults during orthostatic test. *Journal of New Medical Technologies*. 2024;18(5):91-97. Russian (Беляева В. А. Вариабельность сердечного ритма у молодых лиц при проведении ортостатической пробы // Вестник новых медицинских технологий. 2024. Т.18, №5. С. 91-97. DOI: 10.24412/2075-4094-2024-5-3-2.)

20. Gronwald T, Schaffarczyk M, Hoos O. Orthostatic testing for heart rate and heart rate variability monitoring in exercise science and practice. *Eur J Appl Physiol*. 2024;124(12):3495-3510. DOI: 10.1007/s00421-024-05601-4.
21. Khaydarova ZE. Heart rate Rigidity in patients with myocardial infarction. *Science and Education*. 2023;4(5):627-635. Russian (Хайда-

- рова З. Э. Ригидность сердечного ритма у больных с инфарктом миокарда. *Science and Education*. 2023. Т.4 №5. С. 627-635.
22. Damoun N, Amekran Y, Taiek N, El Hangouche AJ. Heart rate variability measurement and influencing factors: towards the standardization of methodology. *Global Cardiology Science and Practice*. 2024; (4):e202435. DOI: 10.21542/gcsp.2024.35.

Сведения об авторах:

Иванова Анастасия Александровна (автор для переписки) — к.м.н., ученый секретарь, врач — анестезиолог-реаниматолог ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России; 630091, Россия, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17. <https://orcid.org/0000-0002-7815-8487>. E-mail: aivanova.nsk@yandex.ru

Кузьмина Елена Евгеньевна — клинический ординатор ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России; 630091, Россия, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17. <https://orcid.org/0009-0008-9711-6582>. E-mail: www.liza523@gmail.com

Статья поступила в редакцию 24.04.2026

Рецензирование пройдено 02.07.2026

Подписано в печать 31.08.2026

Information about authors:

Ivanova Anastasia Aleksandrovna (author for correspondence) — candidate of medical sciences, scientific secretary, anesthesiologist-resuscitator, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan; 630091, Russia, Novosibirsk, Frunze str, 17. <https://orcid.org/0000-0002-7815-8487>. E-mail: aivanova.nsk@yandex.ru

Kuzminova Elizaveta Evgenievna — clinical resident, Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. Ya.L. Tsivyan; 630091, Russia, Novosibirsk, Frunze str, 17. <https://orcid.org/0009-0008-9711-6582>. E-mail: www.liza523@gmail.com

Received 24.04.2026

Review completed 02.07.2026

Passed for printing 31.08.2026



АССОЦИАЦИИ ОСЛОЖНЕНИЙ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ МИКРОБИОТЫ С ИСХОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ ДИСБИОЗА У ПАЦИЕНТОВ С ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ КОЛОСТОМОЙ ПОСЛЕ ПЕЛЬВИОАБДОМИНАЛЬНЫХ РАНЕНИЙ ПЕРЕД ВЫПОЛНЕНИЕМ РЕКОНСТРУКТИВНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ОПЕРАЦИИ

ASSOCIATIONS OF COMPLICATIONS AND MICROBIOTA INDICES WITH THE INITIAL DEGREE OF DYSBIOSIS IN PATIENTS WITH A FUNCTIONING COLOSTOMY AFTER PELVIC ABDOMINAL WOUNDS BEFORE RECONSTRUCTIVE SURGERY

Еселевич Р.В. Eselevich R.V.
Балюра О.В. Balyura O.V.
Гирш А.О. Girsh A.O.
Маркевич В.Ю. Markevich V.Yu.
Степанов С.С. Stepanov S.S.
Мельникова Е.В. Melnikova E.V.
Монгуш С.М. Mongush S.M.
Левковский С.С. Levkovsky S.S.
Суров Д.А. Surov D.A.

ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Минобороны России,
г. Санкт-Петербург, Россия,
ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России,
г. Омск, Россия

Kirov Military Medical Academy,
St. Petersburg, Russia,
Omsk State Medical University,
Omsk, Russia

Цель исследования — на основе комплекса методов статистического анализа выявить ассоциации осложнений и показателей микробиоты с исходной степенью дисбиоза у пациентов с функционирующей колостомой после пельвиоабдоминальных ранений перед выполнением реконструктивно-восстановительной операции. Полученные данные необходимы для прогнозирования результатов хирургического лечения, а также для обоснованного и адресно-направленного регулирования микробиома.

Материалы и методы. Проведено проспективное когортное клиническое исследование с участием 35 пациентов (средний возраст — 38 (30; 44) лет) с функционирующей колостомой, поступивших в плановом режиме для реконструктивно-восстановительного оперативного лечения в период с июля по ноябрь 2025 года после стандартного предоперационного обследования. Биологический материал (кишечное отделяемое из колостомы), собранный в стерильную емкость, доставляли в бактериологическую лабораторию в течение двух часов после забора. Исследование

Objective — to use a combination of statistical analysis methods to identify associations between complications and microbiota parameters and the initial degree of dysbiosis in patients with a functioning colostomy after pelvic abdominal injuries prior to reconstructive surgery. The data obtained are necessary for predicting surgical outcomes, as well as for informed and targeted microbiome regulation.

Materials and methods. A prospective cohort clinical study was conducted involving 35 patients (mean age 38 (30; 44) years) with a functioning colostomy, admitted for elective reconstructive surgery between July and November 2025 after a standard preoperative examination. Biological material (intestinal discharge from the colostomy), collected in a sterile container, was delivered to the bacteriology laboratory within two hours of collection. The samples were analyzed using the culture method. The following microbiome components were

Для цитирования: Еселевич Р.В., Балюра О.В., Гирш А.О., Маркевич В.Ю., Степанов С.С., Мельникова Е.В., Монгуш С.М., Левковский С.С., Суров Д.А. АССОЦИАЦИИ ОСЛОЖНЕНИЙ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ МИКРОБИОТЫ С ИСХОДНОЙ СТЕПЕНЬЮ ДИСБИОЗА У ПАЦИЕНТОВ С ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ КОЛОСТОМОЙ ПОСЛЕ ПЕЛЬВИОАБДОМИНАЛЬНЫХ РАНЕНИЙ ПЕРЕД ВЫПОЛНЕНИЕМ РЕКОНСТРУКТИВНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ОПЕРАЦИИ //ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2026. № 3. С. 31-41.

Режим доступа: <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/705>

DOI: 10.24412/1819-1495-2026-3-31-41

образцов проводили культуральным методом. Определяли следующие составляющие микробиома: бифидобактерии, лактобактерии, энтерококки, стафилококк эпидермальный и условно-патогенные энтеробактерии ($\log_{10}$ КОЕ/г). Статистический анализ выполняли в среде R (версия 4.3.2) с использованием пакетов stats (базовые статистические функции, корреляции, регрессия), car (тест на мультиколлинеарность VIF), lmtest (тест Бреуша — Пагана), pROC (построение и анализ ROC-кривых), dplyr и tidyr (обработка данных), ggplot2 (визуализация).

Результаты. Исходная степень дисбиоза у пациентов статистически значимо ассоциирована с концентрацией условно-патогенных энтеробактерий и бифидобактерий. Многофакторный регрессионный анализ подтвердил наличие связи между степенью дисбиоза и развитием парастомических и вентральных грыж, а также жидкостных затеков.

Согласно результатам логистической регрессии, у пациентов с дисбиозом 3–4-й степени, по сравнению с лицами с 1–2-й степенью, значимо выше вероятность выявления парастомических грыж ($OR = 3,87$) и затеков ($OR = 6,45$). Также у них значимо чаще регистрировали снижение концентрации бифидобактерий $> 10^7$ КОЕ/г ($OR = 5,14$) и увеличение содержания условно-патогенных энтеробактерий $> 10^4$ КОЕ/г ($OR = 4,32$). Прогностические модели продемонстрировали хорошую объяснительную способность: значение коэффициента детерминации составило $R^2 = 0,387$ (модель объясняет 38,7 % дисперсии признака).

Заключение. Исходный дисбиоз кишечника у пациентов с функционирующей колостомой после пельвиоабдоминальных ранений этиологически связан с повышением уровня условно-патогенных энтеробактерий, снижением пула бифидобактерий, а также с развитием парастомических, вентральных грыж и затеков. Пациенты с тяжелыми формами дисбиоза 3–4 степени формируют группу высокого риска по развитию хирургических осложнений в пред- и послеоперационном периодах. Для снижения частоты послеоперационных осложнений перед выполнением реконструктивно-восстановительной операции обосновано применение стратегии предоперационной подготовки с использованием многокомпонентного метаболита с β -глюканами в течение 21 дня.

Ключевые слова: дисбиоз; функционирующая колостома; осложнения

determined: bifidobacteria, lactobacilli, enterococci, Staphylococcus epidermidis, and opportunistic enterobacteria ($\log_{10}$ CFU/g). Statistical analysis was performed in the R environment (version 4.3.2) using the following packages: stats (basic statistical functions, correlations, regression), car (VIF multicollinearity test), lmtest (Breusch-Pagan test), pROC (ROC curve construction and analysis), dplyr and tidyr (data processing), and ggplot2 (visualization).

Results. The initial degree of dysbiosis in patients was statistically significantly associated with the concentration of opportunistic enterobacteria and bifidobacteria. Multivariate regression analysis confirmed a link between the degree of dysbiosis and the development of parastomal and ventral hernias, as well as fluid leaks.

According to the results of logistic regression, patients with grades 3–4 dysbiosis, compared with those with grades 1–2, were significantly more likely to have parastomal hernias ($OR = 3.87$) and leaks ($OR = 6.45$). They were also significantly more likely to have a decreased concentration of bifidobacteria $> 10^7$ CFU/g ($OR = 5.14$) and an increased content of opportunistic enterobacteria $> 10^4$ CFU/g ($OR = 4.32$). The predictive models demonstrated good explanatory power: the value of the determination coefficient was $R^2 = 0.387$ (the model explains 38.7% of the variance of the feature).

Conclusion. Initial intestinal dysbiosis in patients with a functioning colostomy after pelvic-abdominal wounds is etiologically associated with increased levels of opportunistic enterobacteria, decreased bifidobacteria, and the development of parastomal and ventral hernias and leaks. Patients with severe forms of dysbiosis (grades 3–4) are at high risk for surgical complications in the pre- and postoperative periods. To reduce the incidence of postoperative complications before reconstructive surgery, a preoperative preparation strategy using a multicomponent metabiotic with β -glucans for 21 days is recommended.

Keywords: dysbiosis; functioning colostomy; complications

У больных с функционирующей колостомой могут возникать такие осложнения как затеки, парастомические и послеоперационные вентральные грыжи [1–3], требующие консервативного или оперативного лечения [4–7] для улучшения исходов [8, 9]. У хирургических больных, в частности с функционирующей колостомой, значимо изменяется микробиом эволюционирующий дисбиоз кишечника [9–13], который оказывает резонансное и неблагоприятное воздействие на ранние и поздние осложнения [14–18], а также на период восстановления [19, 20].

С учетом вышеуказанного **цель исследования** заключалась в том, чтобы на основе комплекса методов статистического анализа выявить ассоциации осложнений и показателей микробиоты с исходной степенью дисбиоза у пациентов с функционирующей колостомой после пельвиоабдоминальных ранений перед выполнением реконструктивно-восстановительной операции. Полученные данные необходимы для

прогнозирования результатов хирургического лечения, а также для обоснованного и адресно-направленного регулирования микробиома.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено проспективное когортное клиническое исследование с участием 35 пациентов (средний возраст — 38 (30; 44) лет) мужского пола (100 %) с функционирующей колостомой, сформированной в рамках тактики контроля повреждений по поводу осколочных ранений живота и таза. Пациенты поступили в плановом режиме после стандартного предоперационного обследования в период с июля по ноябрь 2025 года для осуществления реконструктивно-восстановительного оперативного лечения.

Критериями включения являлись: наличие в анамнезе осколочного ранения живота и/или таза с повреждением толстой кишки, что потребовало формирования диверсионной колостомы левой половины толстой кишки в

рамках тактики многоэтапного хирургического лечения; отсутствие данных о приеме пробиотиков и метаболитов после выполнения диверсионной колостомы. В исследование не включались пациенты с тонкокишечной стомой, толстокишечными стомами правой половины толстой кишки (цеко-, асцендо-, трансверзостомами).

При поступлении в хирургическое отделение у каждого пациента производилось взятие кишечного отделяемого для исследования на наличие дисбактериоза и определения степени его тяжести для его стратификации [21] (табл. 1). Поскольку между 1-й и 2-й, а также между 3-й и 4-й степенями тяжести дисбиоза не было определено статистически значимых различий, для увеличения мощности исследования, ясности и удобства трактовки сравнения полученных результатов пациенты были распределены на группу с легким/умеренным (1–2 степень) и группу с выраженным/тяжелым (3–4 степень) дисбиозом.

Биологический материал (кишечное отделяемое из колостомы), собранный в стерильную емкость доставлялся в бактериологическую лабораторию в течение двух часов после забора. Исследование образцов проводилось культуральным методом (микроорганизмы выделялись из биологического материала и идентифицировались на специфичных питательных средах). Процедура посева образца соответ-

ствовала общепринятым стандартным процедурам (Приказ Минздрава России № 231 от 9 июня 2003 г. Об утверждении отраслевого стандарта «Протокол ведения больных. Дисбактериоз кишечника»). Определяли следующие составляющие микробиома: бифидобактерии, лактобактерии, энтерококки, стафилококк эпидермальный и условно-патогенные энтеробактерии ($\log_{10}$ КОЕ/г). Принципом метода являлся

подсчет бактерий, обнаруженных в разведениях определенной массы кишечного отделяемого из колостомы (1 г). При посеве кишечного отделяемого из колостомы осуществлялся ряд разведений с 1 по 9. Сначала готовили ряд разведений, а затем производили посев на специфические для определяемых бактерий среды. Производился подсчет их содержания. Посев нативного кишечного отделяемого из ко-

Таблица 1

Классификация и критерии степеней тяжести дисбиоза кишечника (на основании приказа МЗ РФ № 231 от 9 июня 2003 г. Об утверждении отраслевого стандарта «Протокол ведения больных. Дисбактериоз кишечника») у пациентов с функционирующей колостомой после пельвиоабдоминальных ранений перед выполнением реконструктивно-восстановительного оперативного лечения

Table 1

Classification and criteria for the severity of intestinal dysbiosis (based on the order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 231 of June 9, 2003 On approval of the industry standard "Protocol for the management of patients. Intestinal dysbiosis") in patients with a functioning colostomy, after pelvio-abdominal wounds, before performing reconstructive surgical treatment

Степень тяжести дисбиоза кишечника Severity of intestinal dysbiosis	Диапазоны критериев дисбиоза кишечника Ranges of criteria for intestinal dysbiosis	
1-я степень (минимальная) 1st degree (minimum)	Бифидобактерии от 10^7 до 10^8 КОЕ/г, лактобактерии от 10^5 до 10^6 КОЕ/г, типичные эшерихии от 10^5 до 10^6 КОЕ/г или повышение до $10^9 - 10^{10}$ КОЕ/г Bifidobacteria from 10^7 to 10^8 CFU/g, lactobacilli from 10^5 to 10^6 CFU/g, typical Escherichia from 10^5 to 10^6 CFU/g or an increase to $10^9 - 10^{10}$ CFU/g	
2-я степень (умеренная) 2nd degree (moderate)	Бифидобактерии $\leq 10^7$ КОЕ/г, лактобактерии $\leq 10^5$ КОЕ/г, гемолитические эшерихии или другие условно-патогенные микроорганизмы от 10^5 до 10^7 КОЕ/г или ассоциации условно-патогенной микрофлоры от 10^4 до 10^5 КОЕ/г Bifidobacteria $\leq 10^7$ CFU/g, lactobacilli $\leq 10^5$ CFU/g, hemolytic Escherichia coli or other opportunistic microorganisms from 10^5 to 10^7 CFU/g or associations of opportunistic microflora from 10^4 to 10^5 CFU/g	
3-я степень (выраженная) 3rd degree (pronounced)	Бифидобактерии $\leq 10^7$ КОЕ/г, лактобактерии $\leq 10^5$ КОЕ/г, ассоциации условно-патогенных микроорганизмов $\geq 10^6 - 10^7$ КОЕ/г Bifidobacteria $\leq 10^7$ CFU/g, lactobacilli $\leq 10^5$ CFU/g, associations of opportunistic microorganisms $\geq 10^6 - 10^7$ CFU/g	
4-я степень (тяжелая) 4th degree (severe)	Бифидобактерии $< 10^3$ КОЕ/г, лактобактерии $< 10^3$ КОЕ/г, кишечная палочка (<i>E. coli</i>) от $< 10^5$ до $> 10^8$ (при этом часто встречаются измененные формы — лактозонегативные, гемолитические и со сниженной ферментативной активностью), увеличение условно-патогенных микроорганизмов (облигатных, факультативных и нехарактерных для здорового человека видов отдельно и в ассоциациях) $\geq 10^7$ Bifidobacteria $< 10^3$ CFU/g, lactobacilli $< 10^3$ CFU/g, Escherichia coli (<i>E. coli</i>) from $< 10^5$ to $> 10^8$ (altered forms are often found — lactose-negative, hemolytic and with reduced enzymatic activity), an increase in opportunistic microorganisms (obligate, facultative and species atypical for healthy humans, separately and in associations) $\geq 10^7$	
Степень дисбиоза Degree of dysbiosis	Абсолютное число (n) Absolute number (n)	Процент (%) Percent (%)
1-я (минимальная) 1st (minimum)	5	14.3
2-я (умеренная) 2nd (moderate)	12	34.3
3-я (выраженная) 3rd (pronounced)	14	40.0
4-я (тяжелая) / 4th (severe)	4	11.4
Всего / Total	35	100.0

лостомы осуществляли на среды Пло-скирева, селенитового бульона, агара Шедлера, MRS агара, висмут-сульфи-тового и кровяного агаров, сред Эндо, Сабуро и ЖСА, а также специфичной среды для бифидобактерий. На плот-ных питательных средах проводили подсчет выросших колоний и выве-дение степеней. Со среды для выделе-ния бифидобактерий делали мазки и визуализировали их для обнаружения через микроскоп. Идентификацию вы-росших колоний реализовывали ме-тодом масспектрометрии на аппарате BactoScreen (НПФ «Литех», Россия).

Статистический анализ проводился в среде R (версия 4.3.2), использовались пакеты stats (базовые статистические функции, корреляции, регрессия), car (тест на мультиколлинеарность VIF), lmtest (тест Бройша — Пагана), pROC (построение и анализ ROC-кривых), dplyr и tidyr для обработки данных, ggplot2 — для визуализации [22–24].

Уровень статистической значимости (p-value) для всех тестов принимали < 0,05. Все тесты были двусторонними. Исходно имеющийся дисбиоз (опреде-ляемый как среднее значение) рассма-тривался в качестве основной порядко-вой переменной. Количественные ми-кробиологические показатели (КОЕ/г) были логарифмированы по основанию 10 (log10) для достижения нормально-го распределения и снижения влияния экстремальных значений. Качествен-ные переменные (осложнения) бы-ли представлены в виде абсолютных

частот (n) и процентов (%). Нормаль-ность распределения непрерывных переменных оценивали графически и с помощью теста Шапиро — Уилка. Данные в тексте и таблицах представ-лены как $M \pm SD$. Для оценки силы и направления связи между степенью дисбиоза (порядковая переменная) и количественными показателями (дли-тельность стомы, уровни микроорга-низмов) использовался непараметри-ческий коэффициент ранговой корреляции Спирмена (ρ). Для сравнения степени дисбиоза между группами пациентов с наличием или отсутстви-ем послеоперационных осложнений применялся непараметрический кри-терий Манна — Уитни (для бинарных осложнений) или Краскела — Уоллиса. Идентификацию независимых факто-ров, ассоциированных с исходной сте-пенью дисбиоза (рассматривалась как непрерывная зависимая переменная), осуществляли с помощью построения модели множественной линейной ре-грессии (Ordinary Least Squares, OLS). Оценка качества модели включала анализ коэффициента детерминации (R^2) и проверку допущений модели (тест Бройша — Пагана, нормальность остатков — тест Шапиро — Уилка). Для оценки силы ассоциации между тяже-лым дисбиозом (3–4 степень, бинарная зависимая переменная) и потенциа-льными предикторами (качественны-ми и дихотомизированными количе-ственными) применялась бинарная логистическая регрессия. Результаты

представлены в виде отношения шан-сов (ОШ) с 95% доверительным интер-валом (ДИ). Дискриминационная спо-собность модели оценивалась с помо-щью площади под ROC-кривой (AUC) [22–24].

Исследование выполнено в соответ-ствии с этическими принципами Хель-синкской декларации Всемирной ме-дицинской ассоциации (ред. 2013 г.) и Правилами надлежащей клинической практики, утвержденными Приказом Минздрава России от 01.04.2016 № 200н. Проведение работы одобрено локаль-ным этическим комитетом ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия име-ни С.М. Кирова» Минобороны России (протокол № 305 от 22.07.2025 г.). Все пациенты принимали участие в иссле-довании добровольно, подписав форму информированного согласия до начала любых процедур.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Данные, представленные в табли-це 2, свидетельствуют о том, что исход-но имеющийся дисбиоз у пациентов значимо ассоциирован с содержанием условно-патогенных энтеробактерий ($p = 0,014$) и бифидобактерий ($p = 0,007$). Это значимо подтверждал и многопа-раметрический регрессионный анализ (табл. 3), который идентифицировал значимую связь дисбиоза с парастоми-ческими грыжами ($p = 0,035$), а также отсутствие его связи с длительностью существования стомы. Построенная линейная модель демонстрировала

Таблица 2
Соотношение дисбиоза с переменными у пациентов с функционирующей колостомой после
пельвиоабдоминальных ранений перед реконструктивно-восстановительной операцией

Table 2
Relationship between dysbiosis and variables in patients with a functioning colostomy, after pelvic abdominal injuries,
and before reconstructive surgery

Переменные Variables	Коэффициент корреляции (ρ) Correlation coefficient (ρ)	p-value
Длительность существования стомы (месяцы) Duration of stoma existence (months)	0.15	0.391
Энтерококки (log10 КОЕ/г) Enterococci (log10 CFU/g)	0.32	0.062
Условно-патогенные энтеробактерии (log10 КОЕ/г) Opportunistic enterobacteria (log10 CFU/g)	0.41	0.014*
Стафилококк эпидермальный (log10 КОЕ/г) Staphylococcus epidermidis (log10 CFU/g)	0.18	0.301
Лактобактерии (log10 КОЕ/г) Lactobacilli (log10 CFU/g)	–0.29	0.092
Бифидобактерии (log10 КОЕ/г) Bifidobacteria (log10 CFU/g)	–0.45	0.007*

хорошую объяснительную способность ($R^2 = 0,387$), что объясняет 38,7% дисперсии степени дисбиоза). Помимо этого, у пациентов была обнаружена статистически значимая связь дисбиоза с имеющимися парастомическими ($p = 0,035$) и вентральными грыжами ($p = 0,042$, табл. 4).

Результаты логистической регрессии относительно выявленных статистически значимых предикторов свидетельствуют о том, что у пациентов с дисбиозом 3–4-й степени тяжести, по сравнению с больными, имеющими дисбиоз 1–2-й степени, вероятность возникновения парастомических грыж выше в 3,87 раза. При этом содержание в микробиоте условно-патогенных энтеробактерий $> 10^4$ КОЕ/г и бифидобактерий $< 10^7$ КОЕ/г ассоциировано с увеличением риска выраженного дисбиоза в 4,32 и 5,14 раза соответственно (табл. 5). Для оценки дискриминационной способности статистически значимых предикторов

выраженного дисбиоза (3–4-й степени) был проведен ROC-анализ. Для каждого предиктора рассчитана площадь под ROC-кривой (AUC) с 95% ДИ, определены оптимальные пороговые значения по индексу Юдена, а также рассчитаны чувствительность и специфичность (табл. 5).

Наибольшей прогностической точностью обладал показатель содержания бифидобактерий $< 10^7$ КОЕ/г, AUC которого составила 0,824 (95 % ДИ: 0,689–0,958). Это означает, что в 82,4% случаев данная модель правильно классифицирует пациентов с выраженным дисбиозом и без него. Оптимальный пороговый уровень $< 10^7$ КОЕ/г продемонстрировал высокую чувствительность (83,3%) и специфичность (76,5%), что подтверждает его роль в качестве наиболее информативного микробиологического маркера тяжести дисбиоза. Показатель содержания условно-патогенных энтеробактерий $> 10^4$ КОЕ/г также показал хорошую

дискриминационную способность: AUC = 0,791 (95 % ДИ: 0,642–0,940). Чувствительность и специфичность составили 72,2% и 70,6% соответственно, что свидетельствует о его клинической значимости в качестве самостоятельного предиктора, хотя он и несколько уступает по точности модели с бифидобактериями.

Наименьшую, но статистически приемлемую прогностическую ценность продемонстрировал клинический фактор «наличие парастомической грыжи»: AUC = 0,706 (95% ДИ: 0,535–0,878). Чувствительность данного показателя составила 61,1% при специфичности 76,5%, что указывает на его ограниченную, но дополнительную роль в стратификации риска тяжелого дисбиоза, особенно в сочетании с микробиологическими данными.

При попарном сравнении ROC-кривых с использованием теста ДеЛонга (DeLong's test) статистически значимых различий между AUC моделей

Таблица 3
Данные многопараметрического регрессионного анализа о взаимосвязи исследуемых независимых переменных с зависимой переменной (исходная степень дисбиоза) у пациентов с функционирующей колостомой после пельвиоабдоминальных ранений перед реконструктивно-восстановительной операцией

Table 3
Data from multivariable regression analysis on the relationship between the studied independent variables and the dependent variable (initial degree of dysbiosis) in patients with a functioning colostomy, after pelvic abdominal injuries, before reconstructive surgery

Исследуемые независимые переменные Independent variables studied	Коэффициент β Coefficient β	Стандартная ошибка Standard error	p-value	95% ДИ 95% CI
Условно-патогенные энтеробактерии (log10) Opportunistic Enterobacteriaceae (log10)	0.38	0.15	0.014	(0.08; 0.68)
Бифидобактерии (log10) / Bifidobacteria (log10)	–0.42	0.14	0.007	(–0.70; –0.14)
Наличие парастомической грыжи The presence of a parastomal hernia	0.51	0.23	0.035	(0.05; 0.97)
Длительность существования стомы (месяцы) Duration of stoma existence (months)	0.02	0.02	0.391	(–0.02; 0.06)

Таблица 4
Соотнесенность исходной степени дисбиоза с осложнениями у больных с функционирующей колостомой после пельвиоабдоминальных ранений перед реконструктивно-восстановительной операцией

Table 4
Correlation of the initial degree of dysbiosis with complications in patients with a functioning colostomy, after pelvic abdominal injuries, before reconstructive surgery

Осложнения Complications	Больные (n, %) Patients (n, %)	Степень дисбиоза пациентов Degree of dysbiosis in patients	p-value
Парастомическая грыжа / Parastomal hernia	7 (20.0)	3.14 ± 0.69	0.035
Послеоперационная вентральная грыжа Postoperative ventral hernia	5 (14.3)	3.20 ± 0.84	0.042
Свищ / Fistula	4 (11.4)	3.25 ± 0.96	0.087
Повреждения нервов / Nerve damage	9 (25.7)	2.89 ± 1.05	0.318

Таблица 5

Данные логистической регрессии выявленных достоверных предикторов у пациентов с дисбиозом 3–4-й степени относительно больных с дисбиозом 1–2-й степени с функционирующей колостомой после пельвиоабдоминальных ранений перед реконструктивно-восстановительной операцией и показатели прогностической эффективности предикторов выраженного дисбиоза (3–4-й степени) у данных больных

Table 5

Data from logistic regression of identified reliable predictors in patients with grade 3–4 dysbiosis relative to patients with grade 1–2 dysbiosis with a functioning colostomy, after pelvic abdominal injury, before reconstructive surgery, and indicators of the prognostic effectiveness of predictors of severe dysbiosis (grades 3–4) in these patients

Логистическая регрессия выявленных достоверных предикторов у пациентов с дисбиозом 3–4-й степени относительно больных с дисбиозом 1–2-й степени						
Logistic regression of identified reliable predictors in patients with grade 3–4 dysbiosis relative to patients with grade 1–2 dysbiosis						
Предикторы / Predictors	ОШ / OR		p-value	95% ДИ / 95% CI		
Условно-патогенные энтеробактерии > 10 ⁴ КОЕ/г Opportunistic enterobacteria > 10 ⁴ CFU/g	4.32		0.008	(1.46; 12.78)		
Бифидобактерии < 10 ⁷ КОЕ/г Bifidobacteria < 10 ⁷ CFU/g	5.14		0.003	(1.78; 14.85)		
Наличие парастомической грыжи Presence of parastomal hernia	3.87		0.028	(1.16; 12.91)		
Прогностическая эффективность предикторов выраженного дисбиоза (3–4-й степени)						
Prognostic effectiveness of predictors of severe dysbiosis (grades 3–4)						
Предикторы Predictors	AUC	95% ДИ для AUC 95% CI for AUC	Порог (по Юдену) Threshold (according to Youden)	Чувствительность, % Sensitivity, %	Специфичность, % Specificity, %	p-value (логиттическая регрессия) p-value (logistic regression)
Условно-патогенные энтеробактерии > 10 ⁴ КОЕ/г Opportunistic enterobacteria > 10 ⁴ CFU/g	0.791	0.642– 0.940	> 10 ⁴ КОЕ/г > 10 ⁴ CFU/g	72.2	70.6	0.008
Бифидобактерии < 10 ⁷ КОЕ/г Bifidobacteria < 10 ⁷ CFU/g	0.824	0.689– 0.958	< 10 ⁷ КОЕ/г < 10 ⁴ CFU/g	83.3	76.5	0.003
Наличие парастомической грыжи Presence of parastomal hernia	0.706	0.535– 0.878	наличие presence	61.1	76.5	0.028

не выявлено ($p > 0,05$ для всех парных сравнений), что, вероятно, обусловлено небольшим объемом выборки. Тем не менее тенденция к более высокой дискриминационной способности микробиологических показателей (особенно бифидобактерий) по сравнению с клиническим фактором позволяет рекомендовать их в качестве приоритетных скрининговых маркеров для предоперационной оценки риска выраженного дисбиоза.

Полученные результаты обосновывают целесообразность включения рутинного микробиологического скрининга в алгоритм предоперационной подготовки пациентов с функционирующей колостомой перед реконструктивно-восстановительными операциями.

ОБСУЖДЕНИЕ

Несмотря на то, что дисбиоз не является прямой причиной возникновения парастомических и вентральных грыж у больных с функционирующей колостомой, после ее формирования он может быть ассоциирован с ними опосредованно. К механизмам такой связи относятся частые запоры и метеоризм, способствующие повышению внутрибрюшного давления, а также развитие диверсионного колита. Вследствие последнего в просвете и на стенках кишки увеличивается численность условно-патогенных бактерий, повреждающих слизистую оболочку и провоцирующих воспалительные процессы [25–29]. Более того, ведущей причиной формирования парастомических грыж считается сочетание гнойно-воспалительных процессов в паракостомической области и исходных факторов риска [30, 31] на фоне дисбиоза [32, 33]. Дисбиотические нарушения индуцируют иммуносупрессию [34] и последующее неспецифическое воспаление отключенного отдела толстой кишки, что приводит к изменению ее структуры, снижению сократимости и нарушению всасывания [35]. Кроме того, индуцированное дисбиозом локальное воспаление в кишечнике [36, 37] вызывает нежелательные функционально-структурные перестройки. На фоне системного воспалительного ответа [38] это повышает риск возникновения парастомических и вентральных грыж у пациентов с функционирующей колостомой. В пользу данного предположения свидетельствует и тот факт, что

тальных процессов в паракостомической области и исходных факторов риска [30, 31] на фоне дисбиоза [32, 33]. Дисбиотические нарушения индуцируют иммуносупрессию [34] и последующее неспецифическое воспаление отключенного отдела толстой кишки, что приводит к изменению ее структуры, снижению сократимости и нарушению всасывания [35]. Кроме того, индуцированное дисбиозом локальное воспаление в кишечнике [36, 37] вызывает нежелательные функционально-структурные перестройки. На фоне системного воспалительного ответа [38] это повышает риск возникновения парастомических и вентральных грыж у пациентов с функционирующей колостомой. В пользу данного предположения свидетельствует и тот факт, что

у больных с дисбиозом 3–4-й степени, перенесших пельвиоабдоминальные ранения, перед реконструктивно-восстановительными операциями парастомические грыжи выявлялись значительно чаще, чем при дисбиозе 1–2-й степени. Данное обстоятельство диктует необходимость внедрения дополнительных лечебно-диагностических мероприятий у этой категории пациентов [1, 4–9].

Наличие функционирующей колостомы у пациентов значительно влияло на состав микробиоты кишечника, изменяя ее таксономическое и функциональное разнообразие [11, 32, 36]. В частности, увеличивалась концентрация условно-патогенных энтеробактерий, в первую очередь за счет *Klebsiella spp.*, и снижалось содержание бифидобактерий [37]. Возрастание концентрации *Klebsiella spp.* в микробиоте кишечника пациентов с функционирующей колостомой не только способствовало развитию дисбиоза 3–4-й степени, напрямую ассоциируясь с ним, но и в разы повышало риск его утяжеления [37]. К тому же при дисбиозе 3–4-й степени, по сравнению с дисбиозом 1–2-й степени, концентрация условно-патогенных энтеробактерий в микробиоме больных с функционирующей колостомой, перенесших пельвиоабдоминальные ранения, перед реконструктивно-восстановительной операцией была достоверно выше. Это обуславливало их альтертирующее влияние как на кишечник, так и на макроорганизм в целом [11, 32, 36]. Более того, выраженный дефицит облигатной микрофлоры (в первую очередь, бифидо- и лактобактерий) у этой категории пациентов способствовал не только снижению колонизационной резистентности слизистой оболочки кишечника, но и запуску механизмов формирования гетерогенных биопленок у *Klebsiella spp.*, что содействовало приобретению данным микроорганизмом патогенных свойств [37].

Обнаруженная обратная ассоциация бифидобактерий со степенью тяжести дисбиоза свидетельствует о том, что по мере нарастания его выраженности происходит прогрессивное снижение содержания данных микроорганизмов, являющихся ключевыми маркерами физиологического состояния микробиома кишечника [36, 37]. Этот факт указывает на необходимость включения в состав применяемых препаратов для коррекции дисбиоза

структурных и клеточных компонентов, а также внутриклеточного содержимого бифидобактерий [40]. Кроме того, у пациентов с дисбиозом 3–4-й степени, по сравнению с лицами с дисбиозом 1–2-й степени, концентрация бифидобактерий перед реконструктивно-восстановительной операцией была статистически значимо ниже. Это указывает на более глубокое повреждение кишечного барьера и системные нарушения в макроорганизме [41–43], особенно при наличии сопутствующей патологии [44]. С учетом критического дефицита бифидобактерий в кишечном микробиоме данной категории пациентов патогенетически оправдано и необходимо проведение терапии препаратами, содержащими эти микроорганизмы [8, 11, 13–15, 17–20, 33–35]. Бифидобактерии способны ингибировать трансформацию условно-патогенной флоры в патогенную, стимулировать восстановление аутофлоры, предотвращать альтерацию слизистой оболочки кишечника, а также активировать иммунный ответ [11–20, 38, 39, 41–43]. Данный подход применим и в отношении лактобактерий, которые обладают не только иммуномодулирующим, антиаллергическим, противомикробным и противовоспалительным эффектами, но и способствуют восстановлению и физиологической реконструкции индигенной микрофлоры [17–19, 30, 36, 45–51].

Существенно, что бифидо- и лактобактерии не только взаимосвязаны в микробиоме, но и позитивно влияют друг на друга, обеспечивая синергетический эффект, который значительно усиливает их лечебное действие [32, 39, 52, 53]. Выявленный сочетанный дефицит этой облигатной микрофлоры [8, 10, 11–18, 30–36, 39, 41–43, 45] свидетельствует о том, что в составе применяемых метабиотиков обязательно должны присутствовать структурные компоненты и метаболиты данных микроорганизмов. Стоит отметить, что метабиотики обладают рядом преимуществ перед традиционными пробиотиками [40] и позволяют эффективно снижать выраженность системного воспаления и окислительного стресса [33, 34, 54].

Принимая во внимание изложенное, у пациентов с функционирующей колостомой, перенесших пельвиоабдоминальные ранения, перед выполнением реконструктивно-восстанови-

тельной операции патогенетически оправдано модулирование микробиоты для снижения частоты послеоперационных осложнений [11, 19, 32]. С этой целью целесообразно использовать стратегию предоперационной метабиотической подготовки с применением многокомпонентного метабиотика с β -глюканами [1, 40, 55–60]. Под предоперационной метабиотической подготовкой понимается временной интервал (за 21 день до выполнения реконструктивно-восстановительной операции), в течение которого проводится направленное лечебное воздействие для минимизации степени тяжести дисбиоза кишечника с целью улучшения ранних и поздних послеоперационных исходов, а также ускорения реабилитации пациентов. Данная стратегия представляется не только высокоэффективной в отношении редукции дисбиоза, но и наиболее физиологичной по отношению к микрофлоре хозяина, неинвазивной, безопасной и экономически доступной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходный дисбиоз кишечника у пациентов с функционирующей колостомой после пельвиоабдоминальных ранений статистически значимо ассоциирован с высоким содержанием условно-патогенных энтеробактерий ($p = 0,014$), дефицитом бифидобактерий ($p = 0,007$), а также наличием парастомических ($p = 0,035$) и вентральных грыж ($p = 0,042$). Многопараметрическая регрессионная модель продемонстрировала хорошую объяснительную способность ($R^2 = 0,387$), подтвердив отсутствие взаимосвязи дисбиоза с длительностью существования стомы.

При дисбиозе 3–4-й степени тяжести вероятность возникновения парастомических грыж у пациентов выше в 3,87 раза по сравнению с больными, имеющими нарушения 1–2-й степени. При этом содержание в микробиоте условно-патогенных энтеробактерий $> 10^4$ КОЕ/г и бифидобактерий $< 10^7$ КОЕ/г ассоциировано с увеличением риска выраженного дисбиоза в 4,32 и 5,14 раза соответственно.

Согласно результатам ROC-анализа, наибольшей прогностической точностью в оценке тяжести дисбиоза обладает показатель уровня бифидобактерий $< 10^7$ КОЕ/г (AUC = 0,824; чувствительность — 83,3 %, специфичность — 76,5 %), превосходящий по ин-

формативности уровень энтеробактерий $> 10^4$ КОЕ/г (AUC = 0,791) и наличие парастомической грыжи (AUC = 0,706).

Для снижения частоты послеоперационных осложнений в алгоритм предоперационной подготовки пациентов с функционирующей колостомой

перед реконструктивно-восстановительными операциями целесообразно включать стратегию метабиотической коррекции с применением многокомпонентного метабиотика с β -глюканами в течение 21 дня до хирургического вмешательства.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Eselevich RV, Balyura OV, Melnikova EV, Zotov KYu, Mongush SMO, Surov DA. Modern approaches to the diagnosis and correction of intestinal dysbiosis in order to prevent surgical complications. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2025; 27(3):397-406. Russian (Еселевич Р. В., Балюра О. В., Мельникова Е. В., Зотов К. Ю., Монгуш С. М. О., Суров Д. А. Современные подходы к диагностике и коррекции дисбиоза кишечника с целью профилактики хирургических осложнений // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2025. Т. 27, № 3. С. 397-406.)
2. Levchuk AL, Abdullaev AE. Potential complications after operations with colostomy in patients with perforated diverticulitis of the colon. *Bulletin of the National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov*. 2025; 20(4):52-62. Russian (Левчук А. Л., Абдуллаев А. Э. Потенциальные осложнения после операций с формированием колостом у больных перфоративным дивертикулитом ободочной кишки // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. 2025. Т. 20, № 4. С. 52-62.)
3. Styliński R, Alzubedi A, Rudzki S. Parastomal hernia – current knowledge and treatment. *Wideochir Inne Tech Maloinwazyjne*. 2018; 13(1):1-8.
4. Balyura OV, Eselevich RV, Rumyantsev VN, Shulgin NM, Von VV, Asoskova LO, et al. Surgical treatment of patients with long-term consequences of pelvicoabdominal wounds: the state of the problem and solutions. *Polytrauma*. 2025; (3):101-108. Russian (Балюра О. В., Еселевич Р. В., Румянцев В. Н., Шульгин Н. М., Вон В. В., Асоскова Л. О. и др. Хирургическое лечение пациентов с отдаленными последствиями пельвиоабдоминальных ранений: состояние проблемы и пути решения // Политравма. 2025. № 3. С. 101-108.)
5. Harries RL, Daniels IR, Smart NJ. Outcomes of surgically managed recurrent parastomal hernia: the Sisyphian challenge of the hernia world. *Hernia*. 2021; 25:133-140.
6. Jiang H, Thapa DM, Ma C, Cai X, Wang M. Endoscopic totally extraperitoneal repair of parastomal hernia: a case report. *Front Surg*. 2021;8:659102. DOI: 10.3389/fsurg.2021.659102.
7. Krogsgaard M, Gögenur I, Helgstrand F, Andersen RM, Danielsen AK, Vinther A, et al. Surgical repair of parastomal bulging: a retrospective register-based study on prospectively collected data. *Colorectal Dis*. 2020;22(11):1704-1713. DOI: 10.1111/codi.15197.
8. Alverdy JC, Hyoju SK, Weigerinck M, Gilbert JA. The gut microbiome and the mechanism of surgical infection. *Br J Surg*. 2017;104(2):e14-e23. DOI: 10.1002/bjs.10405.
9. Bassetti M, Eckmann C, Giacobbe DR, Sartelli M, Montravers P. Post-operative abdominal infections: epidemiology, operational definitions, and outcomes. *Intensive Care Med*. 2020;46(2):163-172. DOI: 10.1007/s00134-019-05841-5.
10. Ferrie S, Webster A, Wu B, Tan C, Carey S. Gastrointestinal surgery and the gut microbiome: a systematic literature review. *Eur J Clin Nutr*. 2021;75(1):12-25. DOI: 10.1038/s41430-020-0681-9.
11. Tsigalou C, Paraschaki A, Bragazzi NL, Aftzoglou K, Bezirtoglou E, Tsakris Z, et al. Alterations of gut microbiome following gastrointestinal surgical procedures and their potential complications. *Front Cell Infect Microbiol*. 2023;13:1191126. DOI: 10.3389/fcimb.2023.1191126.
12. Fang X, Vázquez-Baeza Y, Elijah E, Vargas F, Ackermann G, Humphrey G, et al. Gastrointestinal surgery for inflammatory bowel disease persistently lowers microbiome and metabolome diversity. *Inflamm Bowel Dis*. 2021;27(5):603-616. DOI: 10.1093/ibd/izaa262.
13. Glassner KL, Abraham BP, Quigley EMM. The microbiome and inflammatory bowel disease. *J. Allergy Clin. Immunol*. 2020; 145(1):16-27.
14. Mustansir Dawoodbhoy F, Patel BK, Patel K, Bhatia M, Lee CN, Moochhala SM. Gut microbiota dysbiosis as a target for improved post-surgical outcomes and improved patient care: a review of current literature. *Shock*. 2021;55(4):441-454. DOI: 10.1097/SHK.0000000000001654.
15. Skowron KB, Shogan BD, Rubin DT, Hyman NH. The new frontier: the intestinal microbiome and surgery. *J Gastrointest Surg*. 2018;22(7):1277-1285. DOI: 10.1007/s11605-018-3744-7.
16. Gershuni VM, Friedman ES. The microbiome-host interaction as a potential driver of anastomotic leak. *Curr Gastroenterol. Rep*. 2019; 21(1):4.
17. Shi Y, Cui H, Wang F, Zhang Y, Xu Q, Liu D, et al. Role of gut microbiota in postoperative complications and prognosis of gastrointestinal surgery: a narrative review. *Medicine (Baltimore)*. 2022; 101(29):e29826. DOI: 10.1097/MD.00000000000029826.
18. Nichols L, El-Kholy O, Elsayed AAR, Basson MD. The bidirectional interplay between gut dysbiosis and surgical complications: a systematic review. *Am J Surg*. 2025;245:116369. DOI: 10.1016/j.amjsurg.2025.116369.
19. Zheng Z, Hu Y, Tang J, Xu W, Zhu W, Zhang W. The implication of gut microbiota in recovery from gastrointestinal surgery. *Front Cell Infect Microbiol*. 2023;13:1110787. DOI: 10.3389/fcimb.2023.1110787.
20. Kopteev NR, Ovchinnikov TS, Lodygin AV, Bogatnikov A.A., Kashchenko V.A. Parastomal hernias: current status of the problem (literature review). *Coloproctology*. 2023; 22(2):141-148. Russian (Коптеев Н. Р., Овчинников Т. С., Лодыгин А. В., Богатиков А. А., Кашченко В. А. Парастомальные грыжи: актуальное состояние проблемы (обзор литературы) // Колопроктология. 2023. Т. 22, № 2. С. 141-148.)
21. Order of the Ministry of Health of the Russian Federation № 231 of June 9, 2003. On approval of the industry standard "Protocol for the management of patients. Intestinal dysbiosis". Russian (Приказ Министерства здравоохранения РФ № 231 от 9 июня 2003 г. Об утверждении отраслевого стандарта «Протокол ведения больных. Дисбактериоз кишечника».)
22. Borovikov VP. Popular introduction to modern data analysis in the STATISTICS system. Moscow: Hotline - Telecom, 2013. 288 p. Russian (Боровиков В. П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA. Москва: Горячая линия - Телеком, 2013. 288 с.)
23. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. Vienna, Austria. 2023. URL: <https://www.R-project.org>.

24. Shipunov AB. Visual statistics. We use R! Moscow : DMK Press, 2012. 298 p. Russian (Шипунов А. Б. Наглядная статистика. Используем R! Москва: ДМК Пресс, 2012. 298 с.)
25. Grigoryuk AA, Ishchenko VN, Matveev AV, Kovalev VA, Krasno-baev AE, Stuzhin SA. Treatment of paracolostomy hernias with polypropylene mesh (with comment). *Surgery. Journal named after N.I. Pirogov*. 2015; (3):48-51. Russian (Григорюк А. А., Ищенко В. Н., Матвеев А. В., Ковалев В. А., Краснобаев А. Е., Стужин С. А. Лечение параколомостомических грыж с применением полипропиленовой сетки (с комментарием) // *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2015. № 3. С. 48-51.)
26. Goncharov AL, Razbirin VN, Shalaeva TI, Cherner VA, Razbirin DV, Gurova OV, et al. Prevention of paracolostomy hernia. *Surgery. Journal named after N.I. Pirogov*. 2016; (10):52-56. Russian (Гончаров А. Л., Разбирин В. Н., Шалаева Т. И., Чернер В. А., Разбирин Д. В., Гурова О. В., и др. Профилактика параколомостомической грыжи // *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2016. № 10. С. 52-56.)
27. Yanyshv AA., Bazaev AV, Kokobelyan AR, Abelevich AI. Modern methods of preventing parastomal hernias (review). *Modern Technologies in Medicine*. 2018; 10(3):175-183. Russian (Янышев А. А., Базаев А. В., Кокобелян А. Р., Абелевич А. И. Современные методы профилактики парастомальных грыж (обзор) // *Современные технологии в медицине*. 2018. Т. 10, №3. С. 175-183.)
28. Gurova OV, Aslanyan AS. Prevention of paracolostomy hernia. *Surgery. Journal named after N.I. Pirogov*. 2016. (10): 52-56. Russian (Гурова О. В., Асланян А. С. Профилактика параколомостомической грыжи // *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2016. № 10. С. 52-56.)
29. Malgina NV, Rodoman GV, Dolgina TY. Long-term outcomes of surgical management of patients with paracolostomy hernia. *Coloproctology*. 2023. № 22(2). P. 79-85. Russian (Мальгина Н. В., Родоман Г. В., Долгина Т. Ю. Отдаленные результаты хирургического лечения пациентов с параколомостомической грыжей // *Колопроктология*. 2023. Т. 22, № 2. С. 79-85.)
30. Carding S, Verbeke K, Vipond DT, Corfe BM, Owen LJ. Dysbiosis of the gut microbiota in disease. *Microb Ecol Health Dis*. 2015;26:26191. DOI: 10.3402/mehd.v26.26191.
31. Tottleben L, Thomas J, Austin D. Drug-mediated disruption of the aging gut microbiota and mucosal immune system. *Front. Aging*. 2025; 6:1603847. DOI: 10.3389/fragi.2025.1603847.
32. Rodríguez-Padilla Á, Morales-Martín G, Pérez-Quintero R, Rada-Morgades R, Gómez-Salgado J, Ruiz-Frutos C. Diversion colitis and probiotic stimulation: effects of bowel stimulation prior to ileostomy closure. *Front Med (Lausanne)*. 2021;8:654573. DOI: 10.3389/fmed.2021.654573.
33. Mishima Y, Sartor RB. Manipulating resident microbiota to enhance regulatory immune function to treat inflammatory bowel diseases. *J Gastroenterol*. 2020; 55:4-14.
34. Lloyd-Price J, Arze C, Ananthakrishnan AN, Schirmer M, Avila-Pacheco J, Poon TW, et al. Multi-omics of the gut microbial ecosystem in inflammatory bowel diseases. *Nature*. 2019; 569(7758):655-662. DOI: 10.1038/s41586-019-1237-9.
35. Franzosa EA, Sirota-Madi A, Avila-Pacheco J, Fornelos N, Haiser HJ, Reinker S, et al. Gut microbiome structure and metabolic activity in inflammatory bowel disease. *Nat Microbiol*. 2019;4(2):293-305. DOI: 10.1038/s41564-018-0306-4.
36. Sakai SA, Aoshima M, Sawada K, Horasawa S, Yoshikawa A, Fujisawa T, et al. Fecal microbiota in patients with a stoma decreases anaerobic bacteria and alters taxonomic and functional diversities. *Front Cell Infect Microbiol*. 2022;12:925444. DOI: 10.3389/fcimb.2022.925444.
37. Eselevich RV, Balyura OV, Girsh AO, Stepanov SS, Melnikova EV, Mongush SM, et al. Predictors of bowel dysbiosis in patients with functioning colostomy after pelvicoabdominal wounds before performing reconstructive surgical treatment. *Polytrauma*. 2026; (1):12-22. Russian (Еселевич Р. В., Балюра О. В., Гирш А. О., Степанов С. С., Мельникова Е. В., Монгуш С. М. и др. Предикторы дисбиоза кишечника у пациентов с функционирующей колостомой после пельвиоабдоминальных ранений перед выполнением реконструктивно-восстановительного оперативного лечения // *Политравма*. 2026. № 1. С. 12 - 22.)
38. Arbolea S, Watkins C, Stanton C, Ross RP. Gut bifidobacteria populations in human health and aging. *Front Microbiol*. 2016;7:1204. DOI: 10.3389/fmicb.2016.01204.
39. Shikh EV, Makhova AA, Astapovsky AA, Perkov AV. Prospects for probiotic strains of bifidobacteria and enterococci in the treatment and prevention of gastroenterological diseases. *Nutrition issues*. 2021;90(2):15-25. Russian (Ших Е. В., Махова А. А., Астаповский А. А., Перков А. В. Перспективы пробиотических штаммов бифидобактерий и энтерококков в лечении и профилактике заболеваний гастроэнтерологического профиля // *Вопросы питания*. 2021. Т. 90, № 2. С. 15-25.)
40. Eselevich RV, Surov DA, Gerasimov DG, Balyura OV, Rumyantsev VN, Mongush SM, et al. Comparative evaluation of metabiotic compositions and their indications for use in patients in acute and chronic critical conditions. *Polytrauma*. 2024; (4):75-84. Russian (Еселевич Р. В., Суров Д. А., Герасимов Д. Г., Балюра О. В., Румянцев В. Н., Монгуш С. М. и др. Сравнительная оценка составов метабиотиков и их показаний к применению у пациентов в острых и хронических критических состояниях // *Политравма*. 2024. № 4. С. 75-84.)
41. Yang J, Yang H. Antibacterial activity of bifidobacterium breve against *Clostridioides difficile*. *Front. Cell. Infect. Microbiol*. 2019; 9:288-99.
42. Yun B, Song M, Park DJ, Oh S. Beneficial effect of *Bifidobacterium longum* ATCC 15707 on survival rate of *Clostridium difficile* infection in mice. *Korean J Food Sci Anim Resour*. 2017;37(3):368-375. DOI: 10.5851/kosfa.2017.37.3.368.
43. Sorokin OV, Zaporozhchenko AA, Subotyalov MA. Bifidobacteria: mechanism of action, classification, medical and biological significance and research prospects. *Scientific notes of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky. Biology. Chemistry*. 2025;11 (77):2:204-223. Russian (Сорокин О. В., Запорожченко А. А., Суботялов М. А. Бифидобактерии: механизм действия, классификация, медико-биологическое значение и перспективы исследования // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия*. 2025. Том 11 (77), № 2. С. 204-223.)
44. Sukhoparova EP, Khrustaleva IE, Zinoviev EV. Effect of changes in the human gut microbiota on the slowing of the wound process in overweight individuals. *Reconstructive and plastic surgery issues*. 2023; 26(1):6-14. Russian (Сухопарова Е. П., Хрусталёва И. Э., Зиновьев Е. В. Влияние изменений микробиоты кишечника человека на замедление раневого процесса у лиц с избыточной массой тела // *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии*. 2023. № 26(1). С. 6-14.)
45. Tang HJ, Chen CC, Lu YC, Huang HL, Chen HJ, Chuang YC, et al. The effect of *Lactobacillus* with prebiotics on KPC-2-producing *Klebsi-*

- ella pneumoniae. Front Microbiol.* 2022;13:1050247. DOI: 10.3389/fmicb.2022.1050247.
46. Chen CC, Lai CC, Huang HL, Su YT, Chiu YH, Toh HS, et al. Antimicrobial ability and mechanism analysis of *Lactobacillus* species against carbapenemase-producing *Enterobacteriaceae*. *J Microbiol Immunol Infect.* 2021;54(3):447–456. DOI: 10.1016/j.jmii.2020.01.005.
 47. Oganezova IA. Gut microbiota and immunity: immunomodulatory effects of *Lactobacillus rhamnosus* GG. *Russian Medical Journal.* 2018; (9): 39–44. Russian (Оганезова И. А. Кишечная микробиота и иммунитет: иммуномодулирующие эффекты *Lactobacillus rhamnosus* GG. *Русский Медицинский Журнал.* 2018. № 9. С. 39–44.)
 48. Novokshonova AA, Sokolova NV. Physiological functions of lactobacilli in the body and the effectiveness of their use as part of probiotics in pediatric practice. *Effective pharmacotherapy. Epidemiology and infections.* 2012;(1): 52–56. Russian (Новокшонова А. А., Соколова Н. В. Физиологические функции лактобактерий в организме и эффективность их применения в составе пробиотиков в педиатрической практике // Эффективная фармакотерапия. Эпидемиология и инфекции. 2012. № 1. С. 52–56.)
 49. Scillato M, Spitale A, Mongelli G, Privitera GF, Mangano K, Cianci A, et al. Antimicrobial properties of *Lactobacillus* cell-free supernatants against multidrug-resistant urogenital pathogens. *Microbiologyopen.* 2021;10(2):e1173. DOI: 10.1002/mbo3.1173.
 50. Wieërs G, Verbelen V, Van Den Driessche M, Melnik E, Vanheule G, Marot JC, et al. Do probiotics during in-hospital antibiotic treatment prevent colonization of gut microbiota with multi-drug-resistant bacteria? A randomized placebo-controlled trial comparing *Saccharomyces* to a mixture of *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, and *Saccharomyces*. *Front Public Health.* 2021;8:578089. DOI: 10.3389/fpubh.2020.578089.
 51. Dempsey E, Corr SC. *Lactobacillus* spp. for gastrointestinal health: current and future perspectives. *Front. Immunol.* 2022; 13:840245.
 52. Yudina YV, Korsunsky AA, Aminova AI, Abdullaeva GD, Prodeus AP. Gut microbiota as a separate body system. *Evidence-based gastroenterology.* 2019;8(4):36–43. Russian (Юдина Ю. В., Корсунский А. А., Аминова А. И., Абдуллаева Г. Д., Продеус А. П. Микробиота кишечника как отдельная система организма // Доказательная гастроэнтерология. 2019. № 8(4). С. 36–43.)
 53. Evans T, Ali U, Anderton R, Raby E, Manning L, Litton E. Lower gut dysbiosis and mortality in acute critical illness: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med Exp.* 2023;11(1):6. DOI: 10.1186/s40635-022-00486-z.
 54. Beamish EL, Johnson J, Shaw EJ, Scott NA, Bhowmick A, Rigby RJ. Loop ileostomy-mediated fecal stream diversion is associated with microbial dysbiosis. *Gut Microbes.* 2017;8(5):467–478. DOI: 10.1080/19490976.2017.1339003.
 55. Method for treating intestinal dysbiosis in the postoperative period in patients with traumatic brain injury using a metabiotic drug: Patent 2836045 Russian Federation: MPC (51) A61 K 35/744 / A.O. Girsh, A.G. Kozachuk, I.G. Kozachuk, Yu.M. Samoylova; NUTRIZET LLC. No. 2024113290; declared 16.05.24; published 11.03.25, Bulletin No. 8. 2 p. Russian (Способ лечения дисбиоза кишечника в послеоперационном периоде у больных с черепно-мозговой травмой метабитическим препаратом : Пат. 2836045 Российская федерация : МПК (51) А61 К 35/744 / А.О. Гирш, А.Г. Козачук, И.Г. Козачук, Ю.М. Самойлова; ООО «НУТРИЗЕТ». № 2024113290; заявл.16.05.24; опубл. 11.03.25, Бюл. № 8. 2 с.)
 56. Girsch AO, Malyuk AI, Shchetina AV, Izmailova NA, Bystritsky SL, Stepanov SS. Efficacy and safety rating of enteral nutriset mixture containing metabiotic complex and β -glucans when used in nutritional support program in patients with closed craniocerebral trauma on based on monitoring of homeostasis parameters (Report 1) // *Polytrauma.* 2024;(3): 6–18. Russian (Гирш А. О., Малюк А. И., Щетина А. В., Измайлова Н.А., Быстрицкий С.Л., Степанов С.С. Рейтинг эффективности и безопасности энтеральной смеси нутризет, содержащей метабитический комплекс и β -глюканы, при ее использовании в программе питательной поддержки у больных с закрытой черепно-мозговой травмой на основании мониторинга параметров гомеостаза (Сообщение 1) // Политравма. 2024. № 3. С. 6–18.)
 57. Girsch AO, Malyuk AI, Shchetina AV, Izmailova NA, Bystritsky SL, Stepanov SS. Efficacy and Safety Rating of Enteral Diabetic Nutriset d Mixture Containing Metabiotic Complex and β -Glucans When Used in Nutritional Support Program in Patients with Sepsis Based on Monitoring Homeostasis Parameters (Report 2). *Polytrauma.* 2024;(4):6–18. Russian (Гирш А. О., Малюк А. И., Щетина А. В., Измайлова Н. А., Быстрицкий С. Л., Степанов С. С. Рейтинг эффективности и безопасности энтеральной диабетической смеси нутризет д, содержащей метабитический комплекс и β -глюканы, при ее использовании в программе питательной поддержки у больных с сепсисом на основании мониторинга параметров гомеостаза (сообщение 2) // Политравма. 2024. № 4. С. 6–18.)
 58. Malyuk AI, Girsh AO, Stepanov SS. Assessment of the use of the innovative nutrient mixture Nutriset D in the program of nutritional support in patients with acute respiratory distress syndrome. *Journal named after N.V. Sklifosovsky. Emergency medical care.* 2025; 14(2):370–377. Russian (Малюк А. И., Гирш А. О., Степанов С. С. Оценка использования инновационной питательной смеси Нутризет Д в программе нутритивной поддержки у больных с острым респираторным дистресс-синдромом // Журнал им. Н.В. Склифосовского. Неотложная медицинская помощь. 2025. Т. 14, № 2. С. 371–378.)
 59. Stepanov SS, Shriner OA, Zyryanova IN. Effect of therapeutic and preventive diabetic nutrition on glycemic kinetics in women with gestational diabetes mellitus. *Mother and Child in Kuzbass.* 2025;1(100):30–37. Russian (Степанов С. С., Шрайнер О. А., Зырянова И. Н. Действие лечебно-профилактического диабетического питания на кинетику гликемии у женщин с гестационным сахарным диабетом // Мать и Дитя в Кузбассе. 2025. №1(100). С. 30–37.)
 60. Singh RP, Bhardwaj A. β -glucans: apotential source for maintaining gut microbiota and the immune system. *Front. Nutr.* 2023;10:1143682–94.

Сведения об авторах:

Еселевич Роман Владимирович — к.м.н., начальник хирургического отделения клиники кафедры военно-морской хирургии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6Ж, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044.

Information about authors:

Eselevich Roman Vladimirovich — candidate of medical sciences, head of surgery unit of clinic of department of naval surgery, Kirov Military Medical Academy; Academica Lebedeva st., 6Zh, Saint Petersburg, Russia, 194044.

Балюра Олег Валерьевич — к.м.н., старший преподаватель кафедры военно-морской хирургии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6Ж, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044.

Гирш Андрей Оттович (автор для переписки) — д.м.н., профессор, профессор кафедры общей хирургии ФГБОУ ВО ОмГМУ Минздрава России; ул. Ленина, д. 12, г. Омск, Россия, 644099.

E-mail: agirsh@mail.ru

Маркевич Виталий Юрьевич — д.м.н., доцент, заместитель начальника Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6Ж, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044.

Степанов Сергей Степанович — д.м.н., старший научный сотрудник кафедры гистологии и цитологии ФГБОУ ВО ОмГМУ Минздрава России; ул. Ленина, д. 12, г. Омск, Россия, 644099.

Мельникова Елена Владимировна — врач-бактериолог, заведующий бактериологической лабораторией Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6Ж, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044.

Монгуш Сундуй Март-оолович — слушатель 2-го факультета подготовки врачей Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6Ж, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044.

Левковский Сергей Сергеевич — слушатель ординатуры Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6Ж, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044.

Суров Дмитрий Александрович — д.м.н., профессор, начальник кафедры военно-морской хирургии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6Ж, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044.

Balyura Oleg Valerievich — candidate of medical sciences, senior lecturer of department of naval surgery, Kirov Military Medical Academy; Academica Lebedeva st., 6Zh, Saint Petersburg, Russia, 194044.

Girsh Andrey Ottovich (author for correspondence) — MD, PhD, professor, professor of general surgery department, Omsk State Medical University; Lenina st., 12, Omsk, Russia, 644099.

E-mail: agirsh@mail.ru

Markevich Vitaly Yurievich — MD, PhD, associate professor, deputy chief of Kirov Military Medical Academy; Academica Lebedeva st., 6Zh, Saint Petersburg, Russia, 194044.

Stepanov Sergey Stepanovich — MD, PhD, senior researcher of department of histology and cytology, Omsk State Medical University; Lenina st., 12, Omsk, Russia, 644099.

Melnikova Elena Vladimirovna — bacteriologist, head of bacteriological laboratory of Kirov Military Medical Academy; Academica Lebedeva st., 6Zh, Saint Petersburg, Russia, 194044.

Mongush Sunduy Mart-oolovich — student of the 2nd faculty of training doctors of Kirov Military Medical Academy; Academica Lebedeva st., 6Zh, Saint Petersburg, Russia, 194044.

Levkovskiy Sergey Sergeevich — student of residency of Kirov Military Medical Academy; Academica Lebedeva st., 6Zh, Saint Petersburg, Russia, 194044.

Surov Dmitry Alexandrovich — MD, PhD, professor, chief of department of naval surgery, Kirov Military Medical Academy; Academica Lebedeva st., 6Zh, Saint Petersburg, Russia, 194044.

Статья поступила в редакцию 26.01.2026

Рецензирование пройдено 18.07.2026

Подписано в печать 31.08.2026

Received 26.01.2026

Review completed 18.07.2026

Passed for printing 31.08.2026

НЕЙРООРТОПЕДИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ХИРУРГИИ БОЕВЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОБЩЕГО МАЛОБЕРЦОВОГО НЕРВА

THE NEURO-ORTHOPAEDIC APPROACH TO SURGERY FOR COMBAT INJURIES TO THE COMMON PERONEAL

Исенгалиев И.Н. Isengaliev I.N.
Гизатуллин Ш.Х. Gizatullin Sh.Kh.
Гайворонский А.И. Gaivoronsky A.I.
Киселева А.Ю. Kiseleva A.Yu.
Петренко Е.А. Petrenko E.A.
Приймак М.А. Priymak M.A.

ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь
имени академика Н.Н. Бурденко» Минобороны России,
г. Москва, Россия

Main Military Clinical Hospital
named after Academician N. N. Burdenko,
Moscow, Russia

ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия
имени С.М. Кирова» Минобороны России,
г. Санкт-Петербург, Россия

Kirov Military Medical Academy,
Saint Petersburg, Russia

В структуре современных вооруженных конфликтов доля повреждений периферических нервов среди всей боевой травмы возросла до 10 %. Особое место занимают повреждения общего малоберцового нерва (ОМН) и малоберцовой порции седалищного нерва (МПСН), так как они сопровождаются высоким риском инвалидизации пациентов. Стандартная изолированная реконструкция нервного ствола в большинстве случаев демонстрирует неудовлетворительные результаты, в связи с чем необходим поиск новых подходов к восстановлению утраченной функции нижней конечности.

Цель исследования — провести сравнительный анализ ближайших и отдаленных результатов оперативного лечения раненых с боевыми повреждениями МПСН и ОМН после изолированной реконструкции нервного ствола и при использовании нейроортопедического подхода.

Материалы и методы. В одноцентровое когортное исследование включены 68 пациентов, оперированных в 2022–2024 гг. В основной группе ($n = 29$) выполнены одномоментная реконструкция нерва и сухожильно-мышечная транспозиция (СМТ) задней большеберцовой мышцы, в контрольной ($n = 39$) — изолированная реконструкция нерва. Оценку результатов осуществляли через 3, 6, 12 и 18 месяцев после оперативного вмешательства. Оценивали мышечную силу (по шкале MRC и данным динамометрии), объем активных движений (гониометрия), функциональные исходы (шкалы Stanmore, SF-36), а также показатели электромиографии и ультразвукового исследования. Статистический анализ выполняли с использованием критериев Манна — Уитни, Фридмана, χ^2 и регрессионного анализа Кокса.

Результаты. Через 6 месяцев после операции тыльное сгибание стопы ≥ 3 баллов по шкале MRC было достигнуто у 91,3 % пациентов основной группы, что статистически значимо превышало аналогичный показатель в контрольной группе — 12,9 % ($p < 0,001$). Через 12 месяцев в основной группе этот показатель составил 100 %, тогда как в контрольной — лишь 38,3 % ($p < 0,001$). По данным регрессионного анализа Кокса, выполнение СМТ ассоциировалось с увеличением отношения рисков (интенсив-

In modern armed conflicts, the proportion of peripheral nerve injuries among all combat injuries has increased to 10 %. Injuries to the common peroneal nerve (CPN) and the peroneal portion of the sciatic nerve (PPSN) are particularly significant, as they carry a high risk of patient disability. Standard isolated nerve trunk reconstruction yields unsatisfactory results in most cases, necessitating the search for new approaches to restoring lost lower limb function.

Objective — to conduct a comparative analysis of the immediate and long-term results of surgical treatment of patients with combat injuries to the common peroneal nerve and the peroneal portion of the sciatic nerve after isolated reconstruction of the nerve trunk and using a neuroorthopedic approach.

Materials and methods. A single-center cohort study included 68 patients operated on in 2022–2024. In the study group ($n = 29$), simultaneous nerve reconstruction and tendon-muscle transposition (TMT) of the posterior tibial muscle were performed, while isolated nerve reconstruction was performed in the control group ($n = 39$). Outcomes were assessed at 3, 6, 12, and 18 months after surgery. Muscle strength (according to the MRC scale and dynamometry data), active range of motion (goniometry), functional outcomes (Stanmore, SF-36 scales), as well as electroneuromyography and ultrasound parameters were assessed. Statistical analysis was performed using the Mann-Whitney, Friedman, χ^2 tests, and Cox regression analysis.

Results. Six months after surgery, dorsiflexion of the foot ≥ 3 points on the MRC scale was achieved in 91.3 % of patients in the main group, which was statistically significantly higher than the same indicator in the control group — 12.9 % ($p < 0.001$). After 12 months, this indicator was 100 % in the main group, while in the control group it was only 38.3 % ($p < 0.001$). According to Cox regression analysis, the performance of TMT was associated with a 19.7-fold increase in the hazard

Для цитирования: Исенгалиев И.Н., Гизатуллин Ш.Х., Гайворонский А.И., Киселева А.Ю., Петренко Е.А., Приймак М.А. НЕЙРООРТОПЕДИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ХИРУРГИИ БОЕВЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ОБЩЕГО МАЛОБЕРЦОВОГО НЕРВА //ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2026. № 3. С. 42-54.

Режим доступа: <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/703>

DOI: 10.24412/1819-1495-2026-3-42-54

ности) достижения функционального успеха в 19,7 раза (ОР = 19,7; 95% ДИ: 7,58–51,2; $p < 0,001$). Были также выявлены факторы неблагоприятного прогноза для восстановления функции: величина диастаза нерва более 3 см, сочетанный характер повреждения (переломы костей нижней конечности, дефекты мягких тканей) и интервал между ранением и операцией более 3 месяцев.

Заключение. Применение сочетанного нейроортопедического подхода при боевых повреждениях ОМН и МПСН позволяет статистически значительно улучшить функциональные исходы, предотвратить развитие контрактур и деформаций стопы, а также повысить качество жизни пациентов. Разработанный алгоритм лечения может быть рекомендован к широкому внедрению в клиническую практику военно-полевой хирургии и травматологии.

Ключевые слова: общий малоберцовый нерв, огнестрельное ранение, нейроортопедический подход, сухожильно-мышечная транспозиция, боевая травма

ratio (intensity) of achieving functional success (HR = 19.7; 95% CI: 7.58–51.2; $p < 0.001$). Factors of unfavorable prognosis for functional recovery were also identified: the size of the nerve diastasis more than 3 cm, the combined nature of the injury (fractures of the lower limb bones, soft tissue defects) and the interval between injury and surgery more than 3 months.

Conclusion. The use of the combined neuroorthopedic approach for combat injuries to the common peroneal nerve and the peroneal portion of the sciatic nerve allows for statistically significant improvements in functional outcomes, the prevention of contractures and foot deformities, and an improved quality of life. The developed treatment algorithm can be recommended for widespread implementation in clinical practice in military field surgery and traumatology.

Keywords: common peroneal nerve, gunshot wound, neuroorthopedic approach, tendon-muscle transposition, combat trauma

Огнестрельные повреждения периферических нервов на настоящий момент являются серьезной проблемой и сохраняют высокую социальную и медицинскую значимость. В условиях мирного времени огнестрельные ранения периферических нервов встречаются достаточно редко — менее чем в 1 % всех травм, однако в структуре современных вооруженных конфликтов доля повреждений периферических нервов среди всей боевой травмы возрастает до 10 %, что закономерно приводит к росту инвалидизации в стране лиц трудоспособного возраста [1].

Среди всех боевых повреждений периферических нервов особого внимания заслуживает травма ОМН. Это обусловлено анатомией нервного ствола и неблагоприятным прогнозом восстановления функции нижней конечности. Согласно данным литературы, достичь силы разгибателей стопы в 3 балла и более после шва либо аутопластики общего малоберцового нерва (ОМН) или малоберцовой порции седалищного нерва (МПСН) возможно не более чем в 50 % случаев при травмах мирного времени. При огнестрельных ранениях редко удается наблюдать полезную функцию стопы, ее восстановление зафиксировано лишь у небольшой части пациентов [2–5].

В итоге у раненых отсутствует тыльное сгибание стопы, что кардинально меняет походку — она приобретает «шлепающий» характер. Впоследствии из-за развившегося паралича малоберцовых мышц и некомпенсированного «перетягивания» стопы задней большеберцовой мышцей формируется эквиноварусная деформация с выворотом стопы. Это вынуждает пациентов

постоянно использовать ортез, что фактически делает их инвалидами, неспособными к возвращению к полноценной профессиональной деятельности и ведению активного образа жизни. Для военнослужащих восстановление функции стопы имеет важное значение, так как при ее отсутствии они подлежат увольнению из рядов Вооруженных сил Российской Федерации согласно Постановлению Правительства РФ от 04.07.2013 г. № 565 «Об утверждении Положения о военно-врачебной экспертизе». Таким образом, восстановление опороспособности и правильной биомеханики стопы у раненого является медицинской и важнейшей социально-экономической задачей.

В течение десятилетий стандартом лечения повреждений ОМН являлась выжидательная тактика с последующей изолированной реконструкцией нервного ствола (невролиз, шов, аутопластика). В случае неудачи проводились отсроченные сухожильно-мышечные транспозиции (СМТ), выполняемые через 12 месяцев и более после травмы [6]. Однако такой подход имеет ряд существенных недостатков. Во-первых, длительный период денервации (более 6–8 месяцев) приводит к необратимым фиброзным изменениям в мышцах-мишенях, делаая оперативное вмешательство в виде реиннервации малоэффективным. Во-вторых, за время ожидания у пациента формируются стойкая контрактура голеностопного сустава, «перерастяжение» парализованных мышц и укорочение ахиллова сухожилия, что впоследствии требует дополнительных ортопедических вмешательств и ухудшает прогноз восстановления функции стопы.

В связи со всем вышесказанным в начале XXI века отдельные авторы [7] предложили комбинировать реконструкцию нерва с одномоментной пересадкой сухожилий, демонстрируя улучшение результатов у пациентов с параличом малоберцового нерва в мирное время. Несмотря на это, данная концепция подвергалась критике из-за опасений насчет формирования слабости сгибателей стопы, развития плоскостопия и риска отрыва перемещенного сухожилия.

Основной проблемой в настоящее время является отсутствие в доступной литературе систематизированных данных и исследований о применении нейроортопедического подхода при лечении именно боевых повреждений ОМН и МПСН. Боевая травма периферической нервной системы имеет ряд специфических особенностей: обширную зону поражения, высокую частоту сочетанных повреждений (переломы костей, дефекты мягких тканей, повреждения сосудов), загрязнение раны инородными телами [8, 9]. Все эти факторы делают результаты традиционных реконструкций непредсказуемыми. Работы, описывающие исходы лечения огнестрельных ранений ОМН, единичны и основаны на малых выборках. Это отсутствие систематизированных знаний напрямую связано с высокой частотой неудовлетворительных исходов и стойкой утратой трудоспособности у раненых. Поэтому боевые повреждения ОМН и МПСН в настоящее время остаются социально важной проблемой как для военных нейрохирургов, так и для гражданских специалистов. Поиски новых подходов к восстановлению их утраченной функции востребованы, так

как до сих пор сохраняется противоречие между необходимостью восстановления функции стопы у раненых с боевыми повреждениями ОМН и низкой эффективностью стандартных хирургических методик.

Цель исследования — провести сравнительный анализ ближайших и отдаленных результатов оперативного лечения раненых с боевыми повреждениями МПСН и ОМН после изолированной реконструкции нервного ствола и после применения нейроортопедического подхода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование были включены военнослужащие мужского пола от 18 лет с боевыми огнестрельными повреждениями ОМН или МПСН с подтвержденным полным анатомическим перерывом ствола, которые проходили стационарное лечение в период 2022–2024 гг. в нейрохирургическом центре ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» Минобороны России. Всем пациентам выполнялось реконструктивное вмешательство — эпинеуральный шов, аутопластика икроножным нервом, невротизация или СМТ.

Из анализа исключены пациенты с множественными или многоуровневыми ранениями нервных стволов, повреждениями по типу невропраксии или аксонотмезиса, сопутствующей травмой большеберцового нерва, обширными дефектами мышц голени, наличием контрактуры голеностопного сустава или артродеза в анамнезе, а также раненые со сроком после травмы более 6 месяцев. В процессе лечения 16 пациентов были переведены в другие лечебные учреждения и стали недоступны для контрольного наблюдения (период наблюдения составил менее 12 месяцев).

Таким образом, в анализ включено 68 пациентов с боевой травмой ОМН и МПСН. Потеря для наблюдения составила 19 % (16 из 84 исходно отобранных пациентов) и была связана исключительно с переводом в другие военно-лечебные учреждения, а не с клиническими причинами, что минимизирует риск систематического смещения. Для достижения целей и решения задач диссертационного исследования было спланировано и осуществлено одноцентровое ретро- и проспективное когортное клиническое исследование. Всем 68 раненым

выполнены реконструктивные оперативные вмешательства в сроки от 22 до 160 суток (медиана — 96 суток). В зависимости от тактики хирургического лечения, которая, в свою очередь, определялась клинической ситуацией (наличием сопутствующих повреждений, протяженностью дефекта нерва), все раненые были разделены на две группы для проведения сравнительного анализа. В основную группу (29 пациентов) вошли раненые, которым реконструкция нерва была дополнена СМТ; в контрольную группу (39 пациентов) — пациенты, у которых выполнялось только восстановление целостности нервного ствола. Для минимизации систематической ошибки отбора проведен сравнительный анализ исходных клинико-демографических характеристик, в результате которого статистически значимых различий по ключевым показателям (возраст, срок от ранения до операции, локализация и характер повреждения, коморбидность) выявлено не было ($p > 0,05$ для всех сравнений), что подтверждает сопоставимость групп (табл. 1).

СМТ выполняли путем перемещения задней большеберцовой мышцы на тыл стопы.

На до- и послеоперационном этапах всем пациентам проводили комплексное обследование с использованием клинико-неврологических, инструментальных и лучевых методов диагностики. Неврологический осмотр, электронейромиографию (ЭНМГ) и ультразвуковое исследование (УЗИ) нервов выполняли в нейрохирургическом центре, а рентгенологические исследования — на базе центра лучевой диагностики ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» Минобороны России.

Статистически значимых различий между группами по возрасту и анамнестическим данным выявлено не было; группы сопоставимы по исходным параметрам ($p > 0,05$). Сопутствующая патология не оказывала существенного влияния на результаты лечения: в обеих когортах она регистрировалась в 28 % случаев и была представлена гетерогенной группой заболеваний.

Оценку результатов осуществляли через 3, 6, 12 и 18 месяцев после операции. При контрольных осмотрах оценивали следующие параметры: силу мышц (по шкале MRC и данным динамометрии), объем активных движений

в голеностопном суставе, характер походки, а также восстановление болевой и тактильной чувствительности в зоне иннервации ОМН. Для количественной оценки болевого синдрома применяли визуально-аналоговую шкалу (ВАШ). Функциональные возможности пациентов определяли по шкале Stanmore, а показатели качества жизни — с помощью опросника SF-36. Дополнительно фиксировали субъективную удовлетворенность пациентов результатами проведенного лечения. Для минимизации субъективизма функциональные исходы оценивала группа независимых исследователей (невролог и ортопед), не участвовавших в хирургическом лечении. С этой же целью использовали объективные инструментальные методы: динамометрию, гониометрию и ЭНМГ.

Статистический анализ полученных результатов выполнялся с помощью пакетов прикладных программ Microsoft Office 2021 Excel, Jamovi (версия 2.6.26) и StatSoft Statistica 13. Характер распределения количественных признаков оценивали с помощью критериев Шапиро – Уилка и Колмогорова – Смирнова. Показатели, распределенные нормально, представлялись в виде среднего арифметического (M) и стандартного отклонения (SD), при отклонении от нормального распределения — в виде медианы (Me) и межквартильного размаха [Q1–Q3]. Для сравнения двух независимых групп по количественным и порядковым признакам применяли непараметрический U-критерий Манна – Уитни. Сравнение нескольких связанных выборок в динамике выполняли с помощью критерия Фридмана. При анализе категориальных переменных использовали критерий χ^2 Пирсона (при необходимости — с поправкой Йейтса), а при малых ожидаемых частотах — точный критерий Фишера. Связь между факторами и исходом оценивали с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Для выявления независимых предикторов, влияющих на восстановление функции стопы, применяли модель пропорциональных рисков Кокса с расчетом отношения рисков (ОР) и 95% доверительного интервала (ДИ). Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

Для обеспечения слепого анализа статистическую обработку данных вы-

полнял независимый биостатистик, не осведомленный о распределении пациентов по группам.

Исследование выполнено в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом при ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» Минобороны России (протокол № 283 от 23.10.2024). Все пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании и обработку персональных данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Согласно результатам дисперсионного анализа для независимых выборок, исходные межгрупповые различия ключевых показателей не достигли статистической значимости, что подтверждает сопоставимость групп.

При оценке силы тыльного сгибания стопы уже через 6 месяцев после операции были выявлены статистически значимые различия между исследуемыми группами. В основной группе 91,3 % пациентов достигли силы разгибателей стопы в 3–4 балла по шкале MRC. В то же время в контрольной

группе лишь у 12,9 % раненых удалось добиться восстановления мышечной силы до 3 баллов ($p < 0,001$; U-критерий Манна — Уитни). У пациентов основной группы отмечалось прогрессивное нарастание объема движений и мышечной силы: все они передвигались без использования ортопедических ортезов, демонстрировали симметричный паттерн ходьбы, а 18 из 29 раненых вернулись к исполнению служебных обязанностей.

Через 12 месяцев все пациенты основной группы имели силу тыльных сгибателей стопы и разгибателей паль-

Таблица 1
Клинико-демографические данные пациентов
Table 1
Clinical and demographic data of patients

	Основная группа Main group (n = 29)	Контрольная группа Control group (n = 39)	p-value*
Возраст, годы, Me (IQR)	33 (24–38)	31 (27–35)	0.55
Время до операции, дни, Me (IQR) Time to surgery, days, Me (IQR)	101 (82–120)	91 (50–120)	0.39
Коморбидность / Comorbidity, n (%)			
Нет / No	23.0 (79.3)	26.0 (66.7)	0.86
Ишемическая болезнь сердца / Ischemic heart disease	1.0 (3.4)	3.0 (7.7)	
Хроническая обструктивная болезнь легких Chronic obstructive pulmonary disease	2.0 (6.9)	3.0 (7.7)	
Болезни печени / Liver diseases	0.0 (0.0)	2.0 (5.1)	
Сахарный диабет / Diabetes mellitus	1.0 (3.4)	1.0 (2.6)	
Локализация повреждения / Damage localization, n (%)			
Средняя треть бедра / Middle third of the thigh	3.0 (10.3)	5.0 (12.8)	> 0.99
Нижняя треть бедра / Lower third of the thigh	6.0 (20.7)	8.0 (20.5)	
Подколенная область / Popliteal region	6.0 (20.7)	9.0 (23.1)	
Верхняя треть голени / Upper third of the leg	14.0 (48.3)	17.0 (43.6)	
Поврежденный нерв / Damaged nerve, n (%)			
Общий малоберцовый нерв / Common peroneal nerve	26.0 (89.7)	37.0 (94.9)	0.64
Малоберцовая порция седалищного нерва Peroneal portion of the sciatic nerve	3.0 (10.3)	2.0 (5.1)	
Характер ранения / Nature of injury, n (%)			
Осколочное / Shrapnel	27.0 (93.1)	35.0 (89.7)	>0.99
Пулевое / Bullet	2.0 (6.9)	4.0 (10.3)	
Кооперированные ранения / Cooperative injuries, n (%)			
Кости / Bones	6.0 (54.5)	10.0 (58.8)	> 0.99
Сосуды / Vessels	1.0 (9.1)	2.0 (11.8)	
Обширные дефекты мягких тканей Extensive soft tissue defects	4.0 (36.4)	5.0 (29.4)	
Болевой синдром до операции / Pain syndrome before surgery, n (%)			
Отсутствие / Absence	23.0 (79.3)	29.0 (74.4)	0.83
Низкая интенсивность / Low intensity	2.0 (6.9)	4.0 (10.3)	
Средняя интенсивность / Medium intensity	3.0 (10.3)	3.0 (7.7)	
Высокая интенсивность / High intensity	1.0 (3.4)	3.0 (7.7)	
Шкала Stanmore перед операцией, баллы, Me (IQR) Preoperative Stanmore score, Me (IQR)	16.0 (14.0 – 19.0)	16.0 (14.0 – 19.0)	0.28

* Критерий знаковых рангов Уилкоксона, тест Фишера, критерий χ^2 Пирсона.
* Wilcoxon signed-rank test, Fisher’s test, Pearson’s χ^2 test.

цев ≥ 3 баллов. В контрольной группе данный показатель составил лишь 38,3 %, при этом более чем у половины больных (51,3 %) отмечено развитие стойкой контрактуры голеностопного сустава. О способности к бегу через год после операции сообщили 16 пациентов основной группы, оперированных с использованием нейроортопедического подхода.

При заключительной оценке через 18 месяцев у пациентов основной группы сохранялась мышечная сила тыльных сгибателей стопы в пределах 3–5 баллов; активное разгибание пальцев (2–4 балла) зарегистрировано в 44,8 % случаев. В контрольной группе у 61,7 % раненых по-прежнему отсутствовали активные движения в разгибателях стопы и пальцев, у 23,0 % сила достигала 3 баллов и лишь у 15,3 % — 4 баллов. Кроме того, у пациентов после изолированной реконструкции нервного ствола отмечались слабость подошвенных сгибателей стопы по сравнению с контралатеральной стороной, а также суставные контрактуры различной степени тяжести (рис. 1–3).

Для объективизации оценки восстановления моторной функции раненым выполняли динамометрию тыльного сгибания стопы. При анализе отдален-

ных результатов через 18 месяцев после операции установлено, что в основной группе средняя сила тыльного сгибания составила $7,1 \pm 2,8$ кг, что соответствовало 33 % от показателя здоровой конечности. В контрольной группе в первые 6 месяцев после вмешательства сила тыльного сгибания была близка к нулю, однако к 18 месяцам значимо увеличилась до $2,2 \pm 1,1$ кг ($p < 0,01$).

Важно отметить, что параллельно в контрольной группе происходило прогрессивное снижение силы подошвенного сгибания, ассоциированное с формированием стойкой суставной контрактуры и укорочением ахиллова сухожилия: к 18 месяцам зафиксировано падение показателя на 43 % от исходного уровня ($p = 0,015$, критерий Фридмана). В основной группе сила подошвенного сгибания оставалась стабильной на протяжении всего периода наблюдения ввиду отсутствия указанных деформаций (табл. 2).

Важное значение имеет восстановление объема движений в голеностопном суставе. При измерении амплитуды движений с помощью электронного гониометра установлено, что уже через 3 месяца после операции у пациентов основной группы угол активного тыльного сгибания стал положительным, а

к 18 месяцам достиг $9,2 \pm 3,9^\circ$, что значимо превышало дооперационный уровень ($p < 0,05$; критерий Фридмана). В контрольной группе средний угол оставался отрицательным на всех этапах наблюдения и лишь к 18 месяцам увеличился с $-16,5 \pm 6,6^\circ$ до $-6,1 \pm 12,8^\circ$ ($p < 0,05$), что, однако, недостаточно для восстановления нормальной биомеханики ходьбы (табл. 3).

При оценке болевого синдрома и чувствительности получены следующие результаты. До операции у всех пациентов обеих групп отсутствовали все виды чувствительности в автономной зоне иннервации ОМН, а болевой синдром различной интенсивности по ВАШ регистрировался у 23,5 % раненых. К 18 месяцам у большинства пациентов боль была купирована, однако у 3,4 % лиц основной группы и 5,1 % — контрольной развился стойкий невропатический болевой синдром, требовавший комбинированной мультимодальной анальгезирующей терапии. Статистически значимых межгрупповых различий по шкале ВАШ на данном этапе выявлено не было ($p > 0,05$). Чувствительность в автономной зоне иннервации ОМН частично восстановилась у 51,7 % пациентов основной группы и у 46,2 % — контрольной. Пол-

Таблица 2
Средние значения мышечной силы (динамометрия) до и после хирургического лечения
Table 2
Average values of muscle strength (dynamometry) before and after surgical treatment

Мышечная сила, кг Muscle strength, kg		До операции Before surgery	6 месяцев 6 months	12 месяцев 12 months	18 месяцев 18 months	p (критерий Фридмана) p (Friedman criterion)
Основная группа / Main group						
Тыльное сгибание Dorsal flexion	Б/W	0	3.2 ± 1.4	6.6 ± 4.1	7.1 ± 2.8	0,002
	З/Н	19.7 ± 6	19.2 ± 6	18.2 ± 5.9	18.1 ± 6.0	> 0.05
Подошвенное сгибание Plantar flexion	Б/W	39.1 ± 5	39.2 ± 8.6	40 ± 6.2	40.8 ± 5.8	> 0.05
	З/Н	46.7 ± 6.1	45.6 ± 6.2	46.9 ± 7.1	46.2 ± 7.2	> 0.05
Эверсия стопы Foot eversion	Б/W	0	0	3.2 ± 1.1	6.1 ± 3.2	> 0.05
	З/Н	9.8 ± 2.5	10.1 ± 2.2	$10,0 \pm 2,5$	9.9 ± 2.1	> 0.05
Инверсия стопы Foot inversion	Б/W	12.5 ± 4.5	$2.5 \pm 1,1$	2.8 ± 1.0	2.8 ± 0.9	0.032
	З/Н	11.5 ± 3.5	11.2 ± 3.2	12.0 ± 2.2	12.1 ± 2.5	> 0.05
Контрольная группа / Control group						
Тыльное сгибание Dorsal flexion	Б/W	0	0.9 ± 0.8	1.5 ± 0.6	2.2 ± 1.1	0.048
	З/Н	20.2 ± 5.1	20.1 ± 5.2	19.9 ± 6.0	20.1 ± 6.0	> 0.05
Подошвенное сгибание Plantar flexion	Б/W	38.1 ± 6	35.8 ± 6.8	28 ± 7.1	22 ± 5.1	0.015
	З/Н	45.8 ± 6.2	45.4 ± 5.2	45.4 ± 5.1	45.2 ± 5.0	> 0.05
Эверсия стопы Foot eversion	Б/W	0	0	2.5 ± 1.1	3.1 ± 2.8	> 0.05
	З/Н	10.1 ± 3.2	10.0 ± 2.5	10.1 ± 2.2	10.8 ± 2.6	> 0.05
Инверсия стопы Foot inversion	Б/W	13.1 ± 3.6	12.9 ± 2.6	12.8 ± 2.8	13.1 ± 3.1	> 0.05
	З/Н	12.1 ± 3.2	11.9 ± 2.9	12.2 ± 3.2	11.9 ± 2.9	> 0.05

Примечание. Здесь и в таблице 3: З – здоровая конечность, Б – раненая конечность.

Note. Here and in Table 3: H – healthy limb, B – wounded limb.

Рисунок 1
Результаты лечения за весь период наблюдения (оценка тыльного сгибания стопы) в контрольной и основной группах по шкале Совета по медицинским исследованиям Великобритании (MRC)
Figure 1
Treatment outcomes over the entire observation period (assessment of dorsiflexion of the foot) in the control and study groups according to the UK Medical Research Council (MRC) scale

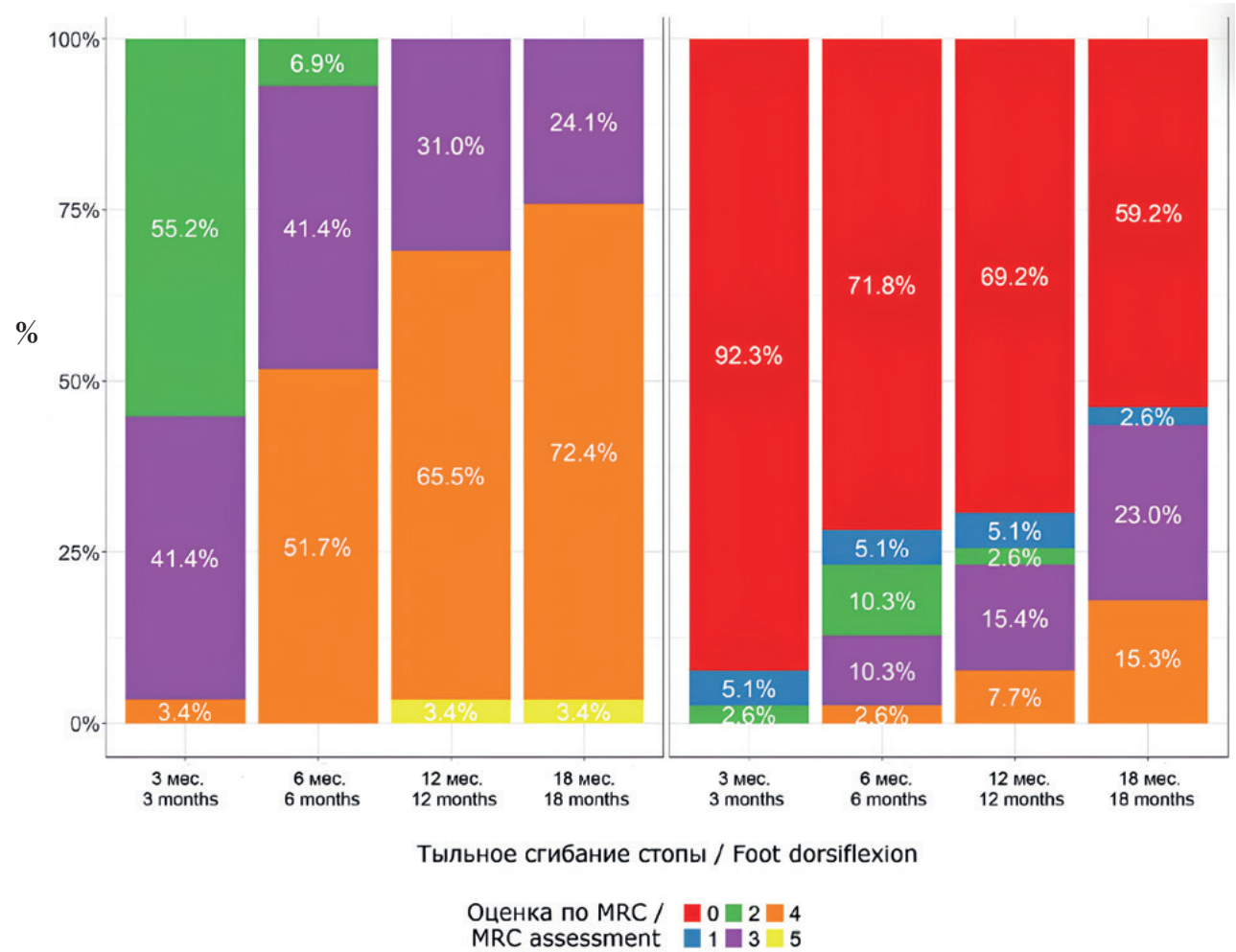


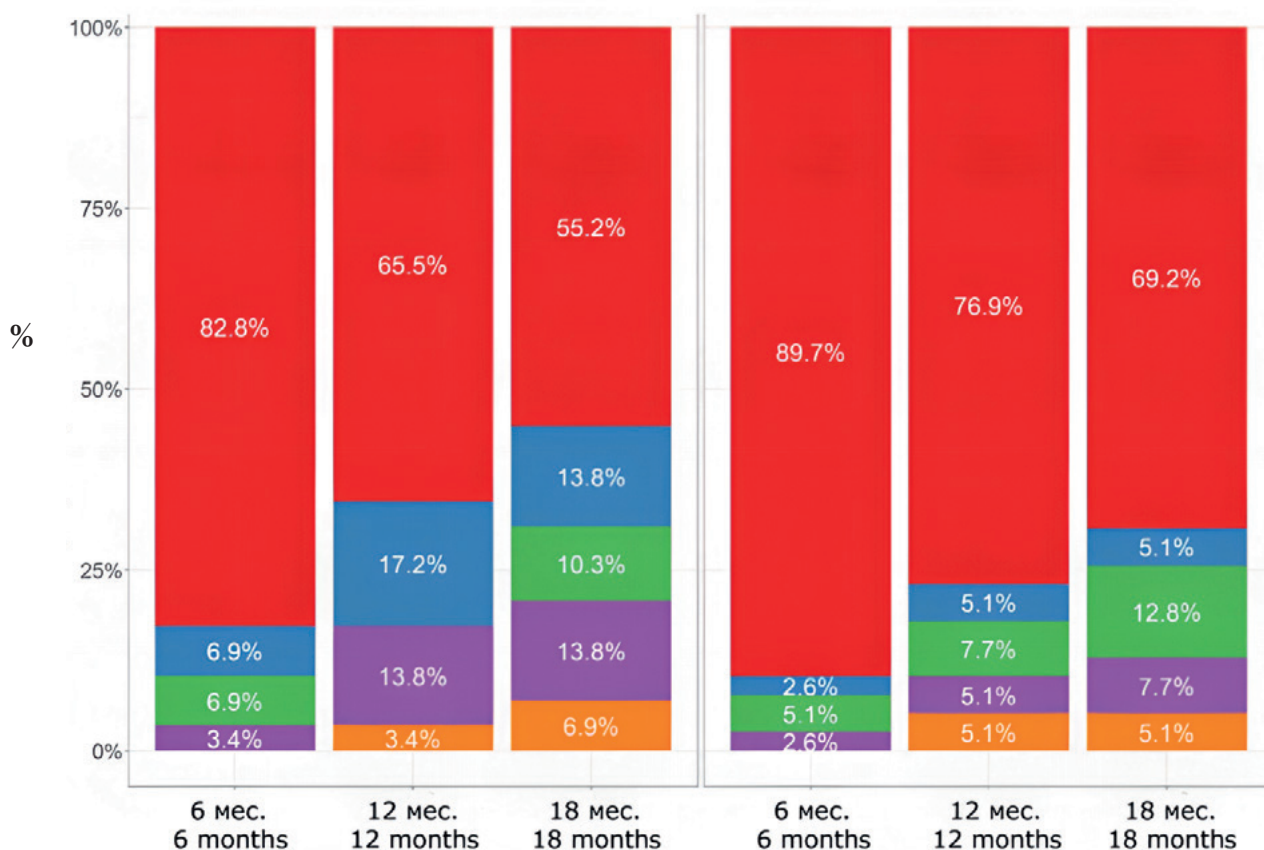
Таблица 3							
Средние значения объема движений в голеностопном суставе (гониометрия) до и после хирургического лечения							
Table 3							
Average ankle range of motion (goniometry) before and after surgery							
Угол объема движений (градусы) Range of motion angle (degrees)		До операции Before surgery	3 месяца 3 months	6 месяцев 6 months	12 месяцев 12 months	18 месяцев 18 months	p (критерий Фридмана) p (Friedman criterion)
Основная группа / Main group							
Тыльное сгибание Dorsal flexion	Б/В	-18.2 ± 6.6	2.5 ± 2.15	8.1 ± 4.5	9.1 ± 4.1	9.2 ± 3.9	0.012
	З/Н	14.5 ± 8.5	14.2 ± 8.9	14.8 ± 8.2	14.2 ± 8.1	14.6 ± 7.9	> 0.05
Подшвенное сгибание Plantar flexion	Б/В	36.5 ± 16.8	36.6 ± 14.7	36.1 ± 15.1	35.1 ± 14.9	35.6 ± 14.0	> 0.05
	З/Н	54.6 ± 10.5	53.6 ± 10.2	53.8 ± 10.0	53.9 ± 10.1	54.1 ± 10.2	> 0.05
Контрольная группа / Control group							
Тыльное сгибание Dorsal flexion	Б/В	-16.5 ± 6.6	-15.5 ± 6.2	-13.5 ± 5.9	-8.5 ± 10.2	-6.1 ± 12.8	0.041
	З/Н	14.1 ± 6.9	14.4 ± 7.2	14.8 ± 7.8	14.6 ± 6.8	13.9 ± 5.9	> 0.05
Подшвенное сгибание Plantar flexion	Б/В	32.1 ± 12.2	30.2 ± 12.8	26.6 ± 10.9	21.2 ± 11.1	19.2 ± 12.3	0.045
	З/Н	51.2 ± 9.4	52.1 ± 10.8	51.9 ± 10.2	53.1 ± 9.1	52.8 ± 9.0	> 0.05

Рисунок 2

Результаты лечения за весь период наблюдения (оценка тыльного сгибания пальцев) в контрольной и основной группах по шкале Совета по медицинским исследованиям Великобритании (MRC)

Figure 2

Treatment results over the entire observation period (finger dorsiflexion assessment) in the control and study groups according to the UK Medical Research Council (MRC) scale



ный регресс сенсорных нарушений зафиксирован у 4 (13,8 %) раненых основной группы и у 2 (5,1 %) пациентов из группы контроля.

Для выявления предикторов неблагоприятного исхода проанализированы следующие показатели: возраст раненых, сопутствующая патология, вид ранящего снаряда, давность травмы на момент операции (до 6 месяцев), уровень ранения, наличие сочетанных повреждений [8, 9], величина дефекта нервного ствола после иссечения посттравматических невров, а также вид выполненного оперативного вмешательства. Для оценки значимости этих параметров использовали результаты ЭНМГ и мануального мышечного тестирования по шкале MRC через 18 месяцев после операции. В качестве критерия эффективности лечения рассматривали достижение силы тыльного сгибания стопы ≥ 3 баллов по шкале MRC к 18-му месяцу наблюдения; пациенты, не достигшие данного уровня, были отнесены к группе с отсутствием

терапевтического ответа. Данные по каждому из анализируемых факторов суммированы в таблицах 4 и 5.

При анализе функциональных исходов в исследуемых когортах установлено, что такие факторы, как сопутствующая патология, тип ранящего снаряда, возраст пациентов и уровень повреждения, не оказали статистически значимого влияния на результаты лечения. У пациентов с сочетанными повреждениями конечностей медианные значения показателей силы по шкале MRC, данных динамометрии и амплитуды М-ответа были ниже по сравнению с группой изолированных ранений ОМН и МПСН, однако эти различия не достигли статистической значимости (критерий Краскела – Уоллиса, $p > 0,05$).

К числу значимых неблагоприятных факторов риска (предикторов неудовлетворительного исхода) отнесены: диастаз концов нервного ствола после иссечения невров более 3 см ($p < 0,001$), наличие кооперированного

[8, 9] перелома костей голени или бедра ($p = 0,025$), срок операции более 3 месяцев с момента ранения ($p < 0,001$).

У раненых с сочетанными переломами костей нижних конечностей результаты лечения были наименее благоприятными: лишь в трех случаях зафиксированы электрофизиологические признаки реиннервации. В подгруппе пациентов с сопутствующими сосудистыми повреждениями или обширными дефектами мягких тканей также отмечена тенденция к ухудшению исходов, однако недостаточный объем выборки не позволил подтвердить статистическую значимость данных различий.

Разделение пациентов по величине диастаза нервного ствола после иссечения посттравматических невров позволило выделить три группы: с дефектом до 3 см, от 3 до 6 см и более 6 см. У 33 (48,5 %) раненых с величиной дефекта менее 3 см зафиксированы значимо более высокие показатели MRC и параметров ЭНМГ по сравнению

с пациентами, имевшими большую протяженность повреждения нерва (U-критерий Манна – Уитни, $p < 0,05$). Данная закономерность подтверждена корреляционным анализом, продемонстрировавшим обратную связь функционального исхода с величиной дефекта нервного ствола (коэффициент ранговой корреляции Спирмена, $p < 0,05$).

Кроме того, установлена умеренная прямая корреляционная связь между результатами лечения и длительно-

стью дооперационного периода (коэффициент ранговой корреляции Спирмена, $p < 0,05$). Более короткий предоперационный период ассоциировался с лучшими показателями силы разгибателей стопы в обеих когортах. При этом следует отметить, что у большинства пациентов, оперированных в отсроченном периоде, имелись сочетанные травмы, потребовавшие проведения многоэтапных реконструктивно-ортопедических вмешательств. Это ограничивает надежность данного

вывода в связи с возможным взаимовлиянием факторов на исходы хирургического лечения.

Модель пропорциональных рисков Кокса продемонстрировала, что выполнение одномоментной СМТ увеличивает интенсивность достижения полезной функции стопы (тыльное сгибание ≥ 3 баллов по шкале MRC) в 19,7 раза (ОР = 19,7; 95 % ДИ: 7,58–51,2; $p < 0,001$). Медиана времени до восстановления указанного функционального порога в контрольной группе соста-

Таблица 4

Оценка влияния различных факторов на конечные результаты по данным электронейромиографии и шкале MRC

Table 4

Assessment of influence of various factors on the final results according to electroneuromyography data and MRC

Характеристика Characteristic	Нет ответа No response (n = 37)	Есть ответ With response (n = 31)	p-value*
Возраст, годы, Me (IQR) / Age, years, Me (IQR)	33 (27–38)	30 (24–34)	0.14
Время до операции, дни, Me (IQR) / Time to surgery, days, Me (IQR)	110 (90–135)	75 (42–101)	< 0.001
Группа / Group, n (%)			
Основная / Main	16.0 (43.2)	13.0 (41.9)	0.91
Контрольная / Control	21.0 (56.8)	18.0 (58.1)	
Поврежденный нерв / Damaged nerve, n (%)			
Общий малоберцовый нерв / Common peroneal nerve	34.0 (91.9)	29.0 (93.5)	> 0.99
Малоберцовая порция седалищного нерва / Peroneal portion of sciatic nerve	3.0 (8.1)	2.0 (6.5)	
Характер ранения / Nature of injury, n (%)			
Осколочное / Shrapnel	34.0 (91.9)	28.0 (90.3)	> 0.99
Пулевое / Bullet	3.0 (8.1)	3.0 (9.7)	
Шкала Stanmore перед операцией, баллы, Me (IQR) Preoperative Stanmore score, Me (IQR)	16.0 (14.0–19.0)	16.0 (14.0–19.0)	0.57
Диастаз нерва после иссечения невром, мм, Me (IQR) Nerve diastasis after excision of neuromas, mm, Me (IQR)	38 (30–55)	28 (25–32)	< 0.001
Кооперированные ранения / Co-operative injuries, n (%)			
Кости / Bones	13.0 (65.0)	3.0 (37.5)	0.025
Сосуды / Vessels	1.0 (5.0)	2.0 (25.0)	> 0.99
Мягкие ткани / Soft tissues	6.0 (30.0)	3.0 (37.5)	> 0.99
Коморбидность / Comorbidity, n (%)			
Нет / No	25.0 (67.6)	24.0 (77.4)	0.41
Ишемическая болезнь сердца / Ischemic heart disease	3.0 (8.1)	1.0 (3.2)	
Хроническая обструктивная болезнь легких Chronic obstructive pulmonary disease	3.0 (8.1)	2.0 (6.5)	
Болезни печени / Liver diseases	0.0 (0.0)	2.0 (6.5)	
Сахарный диабет / Diabetes mellitus	1.0 (2.7)	1.0 (3.2)	
Ожирение / Obesity	5.0 (13.5)	1.0 (3.2)	
Локализация / Localization, n (%)			
Средняя треть бедра / Middle third of femur	5.0 (13.5)	3.0 (9.7)	0.85
Нижняя треть бедра / Lower third of femur	8.0 (21.6)	6.0 (19.4)	
Подколенная область / Popliteal region	9.0 (24.3)	6.0 (19.4)	
Верхняя треть голени / Upper third of leg	15.0 (40.5)	16.0 (51.6)	

* Критерий знаковых рангов Уилкоксона, тест Фишера, критерий χ^2 Пирсона.

Примечание: «ответ» — достижение тыльного сгибания стопы ≥ 3 баллов по шкале MRC через 18 месяцев после операции;

«нет ответа» — достижение тыльного сгибания стопы < 3 баллов по шкале MRC через 18 месяцев после операции.

* Wilcoxon signed-rank test, Fisher's exact test, Pearson's χ^2 test.

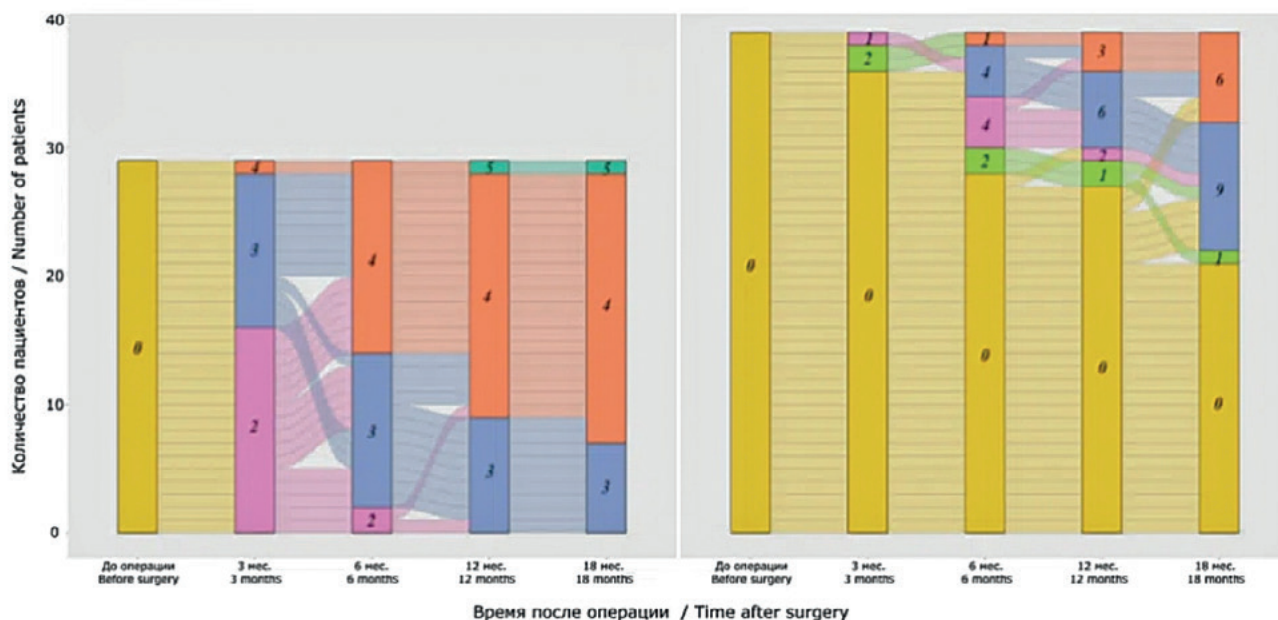
Note: "Response" means achieving foot dorsiflexion ≥ 3 points on MRC 18 months after surgery; "No response" means achieving foot dorsiflexion < 3 points on MRC 18 months after surgery.

Рисунок 3

Sankey-диаграмма в динамике (оценка тыльного сгибания стопы) по MRC (U-критерий Манна — Уитни, $p < 0,001$)

Figure 3

Dynamic Sankey diagram (assessment of dorsiflexion of the foot) according to MRC (Mann-Whitney U-test, $p < 0.001$)



вила 12 месяцев (95 % ДИ: 6–18), тогда как в основной группе — всего 4,5 месяца (95 % ДИ: 3–6). Это свидетельствует о том, что у пациентов после комбинированного оперативного вмешательства скорость достижения благоприятных функциональных исходов значимо выше (рис. 4).

Анализ послеоперационных осложнений показал, что в основной группе зафиксирован один случай (3,4 %) раннего отрыва перемещенного сухожилия, потребовавший проведения повторной фиксации; в контрольной группе подобных осложнений не отмечено.

Через 12 месяцев после хирургического вмешательства рентгенологически оценивали особенности статической деформации стоп. В основной группе высота продольного свода стопы уменьшилась в среднем на 0,6 см, признаки поперечного плоскостопия выявлены у 31,0 % пациентов, однако ортопедическая коррекция индивидуальными стельками потребовалась лишь в 6,9 % случаев. В контрольной группе, напротив, высота продольного свода увеличилась в среднем на 0,8 см, что обусловлено прогрессированием эквиноварусной деформации.

При оценке функциональных исходов и качества жизни пациентов использовали шкалу Stanmore, опросник

SF-36 и структурированный опрос для определения удовлетворенности результатами лечения. Исходный показатель по шкале Stanmore у всех раненых составлял 16 баллов. Через 6 месяцев в основной группе средний балл увеличился до 86 («отличный» результат), тогда как в контрольной группе он не превышал 50 баллов. Через 18 месяцев данное соотношение принципиально не изменилось: в основной группе показатель составил 92 балла, в контрольной — 44 балла ($p < 0,001$; U-критерий Манна — Уитни, рис. 5). По дан-

ным опросника SF-36 через 18 месяцев после операции в основной группе также зафиксированы статистически значимо более высокие показатели как физического, так и психологического компонентов здоровья ($p < 0,01$). Высокую удовлетворенность результатами лечения выразили 96,6 % пациентов основной группы и лишь 43,6 % — контрольной.

ОБСУЖДЕНИЕ

В крупном метаанализе, охватившем 28 исследований по хирургическому

Таблица 5
Характеристики влияния различных факторов на результаты лечения
Table 5
Characteristics of the influence of various factors on treatment outcomes

Фактор Factor	HR (95% ДИ) HR (95% CI)	p
Вид операции / Surgery type		
Контрольная / Control	—	—
Основная / Main	19.7 (7.58–51.2)	< 0.001
Время до операции, дни / Time before surgery, days	0.99 (0.98–1.00)	0.032
Диастаз, мм / Diastasis, mm	0.99 (0.97–1.02)	0.58
Характер ранения / Injury pattern		
Осколочное / Shrapnel	—	—
Пулевое / Bullet	1.12 (0.33–3.78)	0.85

Примечание: HR — оценка по модели пропорциональных рисков (регрессия Кокса).
Note: HR — estimated using the proportional hazards model (Cox regression).

лечению травм ОМН в мирное время, S.C. George и D.E. Воусе установили, что удовлетворительное функциональное восстановление достигается у 80 % пациентов после невротизации, у 37 % — после прямого шва нерва и у 36 % — после аутоотрансплантации. H.I. Secer и соавт., анализируя исходы лечения 250 пациентов с огнестрельными повреждениями ОМН, отметили, что лишь в 37 % случаев удалось восстановить полезную функцию стопы [11]. Аналогичные данные были получены Z. Roganovic в условиях военного конфликта в Югославии: после реконструкции ОМН сила тыльного сгибания стопы более 3 баллов по шкале MRC зарегистрирована лишь у 31 % пациентов [12]. В настоящем исследовании полезная функция стопы в контрольной группе восстановилась в общей сложности у 38,3 % пациентов: после эпинеурального шва — у 43,3 %, после аутопластики — у 25,0 %, тогда как при невротизации реиннервации отмечено не было. Полученные результаты согласуются с данными мировой литературы, посвященной как военно-полевой, так и гражданской травме периферических нервов нижних конечностей [10–12].

При анализе литературы найдено несколько сообщений о выполнении симультанного восстановления ОМН и СМТ [12–15]. Авторы сообщают о достижении благоприятных результатов у большинства пациентов при комбинации этих методов с восстановлением полезной функции стопы и нормализацией ходьбы. S. Ferraresi и соавт. выявили достаточную реиннервацию мышц у 90,0 % пациентов, перенесших восстановление ствола ОМН в сочетании с транспозицией сухожилия, по сравнению с 17,0 % в группе изолированной реконструкции [6]. На основании этого исследователи сделали вывод, что раннее перемещение сухожилия задней большеберцовой мышцы способствует репаративным процессам в нерве и в некоторой степени обеспечивает его протекцию.

Аналогичные данные были получены А.А. Gatskiy и соавт., которые показали, что невротизация в комбинации с одновременным перемещением сухожилия задней большеберцовой мышцы позволяет не только устранить стеснение, но и стабилизировать стопу, улучшая биомеханику походки [16]. В. Но и соавт. также сообщили об

Рисунок 4

Прогноз вероятности восстановления полезной функции стопы для пациентов основной (красная линия) и контрольной (пунктирная линия) групп по методу Каплана — Мейера. Вертикальными метками на кривых отмечены цензурированные наблюдения (пациенты, выбывшие из-под наблюдения до завершения срока)

Figure 4

Kaplan-Meier estimator of the probability of recovery of useful foot function for patients in the study (red line) and control (dashed line) groups. Vertical marks on the curves indicate censored observations (patients lost to follow-up before completion of the study period)

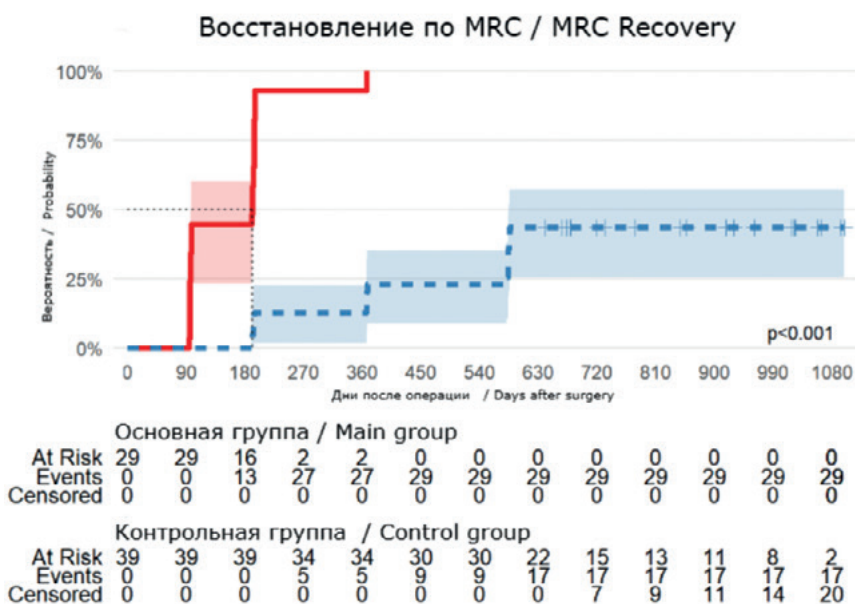
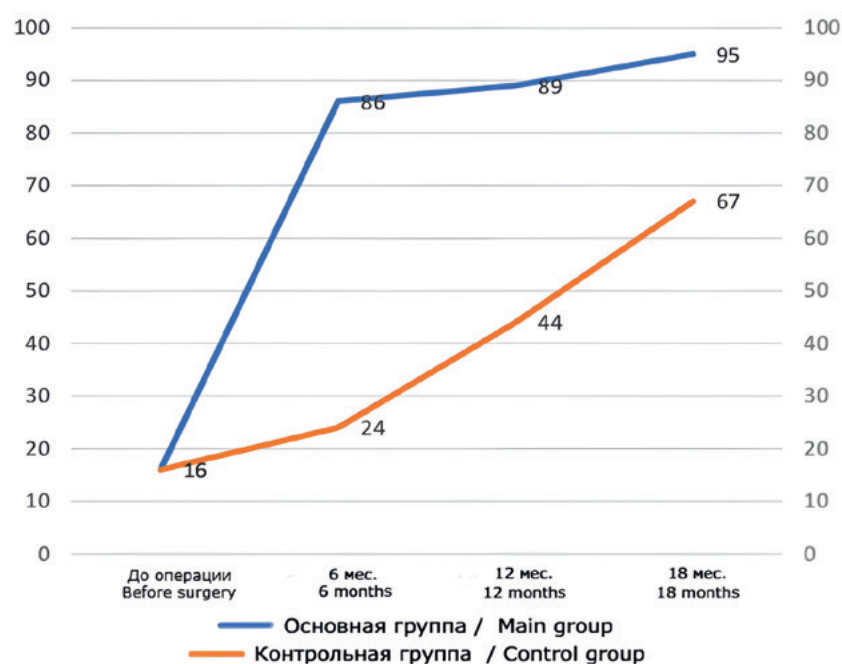


Рисунок 5

Динамика средних показателей по шкале Stanmore после оперативного лечения в основной и контрольной группах (коэффициент Спирмена $p < 0,05$, по сравнению с исходными данными)

Figure 5

Dynamics of average scores on the Stanmore scale after surgical treatment in the main and control groups (Spearman coefficient $p < 0.05$, compared with baseline data)



отличных функциональных результатах у пациентов, перенесших как реконструкцию ОМН, так и СМТ: активное тыльное сгибание появилось у 100 % пациентов в группе симультанных операций, что достоверно отличалось от результатов изолированной СМТ [17]. Полученные данные побуждали нас к проведению собственного анализа результатов лечения боевых повреждений ствола ОМН.

Настоящее исследование демонстрирует статистически значимые преимущества нейроортопедического подхода перед изолированной реконструкцией нервного ствола при огнестрельных ранениях ОМН. Лишь у 38,3 % раненых контрольной группы удалось достичь полезной функции стопы, тогда как в основной группе, где выполнялась одномоментная реконструкция ОМН или МПСН в сочетании с СМТ, этот показатель составил 91,3 %. Согласно многофакторному анализу, выполнение СМТ выступает наиболее значимым предиктором благоприятного исхода лечения ($OR = 19,7$; 95 % ДИ: 7,58–51,2; $p < 0,001$). С учетом полученных данных и доказанных преимуществ, нейроортопедические вмешательства следует рассматривать как базисный элемент алгоритма хирургического лечения огнестрельных ранений ОМН и МПСН в специализированных нейрохирургических и травматологических стационарах.

Безусловно, полученные выводы требуют подтверждения на более крупных выборках: объем в 68 пациентов ограничивает возможность построения сложных многофакторных моделей. Поскольку распределение раненых по группам определялось выбором тактики хирургического лечения, зависевшей от конкретной клинической ситуации (наличия и характера сопутствующих повреждений, протяженности дефекта нерва), невозможно полностью исключить влияние систематической ошибки отбора. Это

могло привести к тому, что в основную группу вошли пациенты с изначально иным уровнем тяжести повреждений, что потенциально способно повлиять на результаты. Однако в работе принят ряд мер для минимизации данного смещения. Во-первых, группы оказались сопоставимы по всем ключевым исходным характеристикам (см. табл. 1). Во-вторых, в регрессионной модели Кокса были учтены потенциальные конфаундеры, включая возраст, давность травмы, величину диастаза и наличие сочетанных повреждений. Кроме того, все случаи выбывания из наблюдения были связаны исключительно с переводом пациентов в другие учреждения, а не с клиническими причинами, что снижает риск систематической ошибки, обусловленной потерей данных. Таким образом, многократная разница в исходах ($OR = 19,7$; $p < 0,001$) делает полученный эффект клинически убедительным даже в рамках данной когорты. Несмотря на это, авторы признают, что только проспективное рандомизированное контролируемое исследование позволит окончательно подтвердить преимущества нейроортопедического подхода при боевых повреждениях ОМН и МПСН.

Одномоментная реконструкция ОМН или МПСН в сочетании с транспозицией сухожилия задней большеберцовой мышцы на тыл стопы позволяет достичь полезной функции конечности у абсолютного большинства раненых с огнестрельными повреждениями. Об этом свидетельствует восстановление силы тыльного сгибания стопы до уровня 3 баллов и более по шкале MRC у 100 % пациентов основной группы через 12 месяцев после операции, тогда как в контрольной группе при изолированном лечении нервного ствола аналогичный показатель к 18-му месяцу наблюдения составил лишь 38,3 %. Нейроортопедический подход предотвращает развитие вторичных статических деформаций,

стойких контрактур голеностопного сустава, перерастяжения парализованных мышц и укорочения ахиллова сухожилия, которые закономерно формируются при использовании выжидательной тактики или изолированной реконструкции нервного ствола.

На основании многофакторного анализа определены значимые предикторы неблагоприятного функционального исхода. К ним относятся диастаз концов нервного ствола после иссечения невром более 3 см ($p < 0,001$), сочетанные переломы костей или обширные дефекты мягких тканей конечности ($p = 0,025$), а также давность травмы на момент операции более 3 месяцев ($p < 0,001$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение нейроортопедического подхода, сочетающего восстановление целостности нерва с одномоментной СМТ, клинически и статистически значимо превосходит изолированную реконструкцию нервного ствола. Дифференцированный подход к лечению раненых с учетом характера боевой травмы и выявленных факторов риска позволяет рекомендовать нейроортопедическую тактику в качестве приоритетного стандарта хирургического лечения огнестрельных повреждений ОМН и МПСН.

Благодарность

Авторы выражают благодарность Храпову Юрию Валерьевичу, начальнику отделения нейрохирургии 431-го Военного госпиталя Минобороны России.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Military field surgery. National guideline. Ed. by IM. Samokhvalov. 2nd ed. Moscow: GEOTAR-Media, 2024. 1056 p. DOI: 10.33029/9704-8036-6-VPX-2024-1-1056. Russian (Военно-полевая хирургия. Национальное руководство / под ред. И. М. Самохвалова. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: ГЕОТАР-Медиа, 2024. 1056 с. DOI: 10.33029/9704-8036-6-VPX-2024-1-1056.)
2. Isaev DM. Anatomical rationale for surgical interventions for injuries of the common peroneal nerve and its main branches: abstracts of Candidate of Medical Sciences. St. Petersburg, 2023. 166 p. Russian (Исаев Д. М. Анатомическое обоснование оперативных вмешательств при повреждениях общего малоберцового нерва и основных его ветвей: дис. ... канд. мед. наук. Санкт-Петербург, 2023. 166 с.)
3. Jones PE, Meyer RM, Faillace WJ. Combat injury of the sciatic nerve - an institutional experience. *Mil. Med.* 2018; 183(9-10): 246.
4. Dunn JC, Tadlock J, Klahs KJ, Narimissaei D, McKay P, Nesti LJ. Nerve reconstruction using processed nerve allograft in the U.S.

- Military. *Mil Med.* 2021;186(5-6):e543-e548. DOI: 10.1093/milmed/usa4494.
5. Turkman A, Thanaraaj V, Soleimani-Nouri P, Harb E, Thakkar M. Outcomes of sciatic nerve injury repairs: a systematic review. *Eplasty.* 2023;23:e42.
 6. Ferraresi S, Garozzo D, Buffatti P. Common peroneal nerve injuries: results with one-stage nerve repair and tendon transfer. *Neurosurg. Rev.* 2003; 26(3):175-179.
 7. Garozzo D, Ferraresi S, Buffatti P. Common peroneal nerve injuries in knee dislocations: results with one-stage nerve repair and tibialis posterior tendon transfer. *J. Orthop. Traumatol.* 2002; 2(3): 135-137.
 8. Gaivoronsky AI, Kim-Skalitchouk BV, Svistov DV, Isaev DM, Churikov LI. On the issue of modern classification of peripheral nervous system's combat injuries. *Kazan Medical Journal.* 2024; 105(5): 760-770. DOI: 10.17816/KMJ375372. Russian (Гайворонский А. И., Ким-Скалийчук Б. В., Свистов Д. В., Исаев Д. М., Чуриков Л. И. К вопросу о современной классификации боевых повреждений периферической нервной системы // Казанский медицинский журнал. 2024. Т. 105, № 5. С. 760-770.)
 9. Gaivoronsky AI, Svistov DV, Isaev DM, Churikov LI, Kim-Skalitchouk BV. Modern interpretation of the classification of peripheral nerve injuries. *Russian Journal of Neurosurgery.* 2025. 27(1): 106-111. Russian (Гайворонский А. И., Свистов Д. В., Исаев Д. М., Чуриков Л. И., Ким-Скалийчук Б. В. Современная интерпретация классификации повреждений периферических нервов // Нейрохирургия (Russian Journal of Neurosurgery). 2025. Т. 27, № 1. С. 106-111.)
 10. Krainyukov PE, Kokorin VV, Glotko VL, Gridnev ES, Krainyukov IP, Suvorov AV. The choice of surgical tactics for the treatment of peripheral nerves in combat trauma. *Bull. Natl. Med.-Surg. Center named after N. I. Pirogov.* 2025. 20(1):134-138. DOI: 10.25881/20728255_2025_20_1_134. Russian (Крайнюков П. Е., Кокорин В. В., Глотко В. Л., Грднев Е. С., Крайнюков И. П., Суворов А. В. Выбор хирургической тактики при травме периферических нервов. Вестн. Нац. медико-хирург. центра им. Н. И. Пирогова, 2025, Т. 20, № 1, С. 134-138. DOI: 10.25881/20728255_2025_20_1_134.)
 11. Secer HI, Daneyemez M, Tehli O, Gonul E, Izci Y. The clinical, electrophysiologic, and surgical characteristics of peripheral nerve injuries caused by gunshot wounds in adults: a 40-year experience. *Surg Neurol.* 2008;69(2):143-52; DOI: 10.1016/j.surneu.2007.01.032.
 12. Roganovic Z. Missile-caused complete lesions of the peroneal nerve and peroneal division of the sciatic nerve: results of 157 repairs. *Neurosurgery.* 2005; 57(6):1201-1212.
 13. Eckhoff MD, Craft MR, Nicholson TC, Nesti LJ, Dunn JC. Lower extremity combat sustained peripheral nerve injury in US military personnel. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2021;9(3):e3447. DOI: 10.1097/GOX.0000000000003447.
 14. Khalimov AR, Mirzabaev MZh, Kurmaev IT, Zhaylaubaeva AS, Nikolaeva AV, Yunusov RYu, et al. Peroneal nerve lesions in the practice of neurologist and neurosurgeon. *Neurosurgery and Neurology of Kazakhstan.* 2023; 1 (70):17-24. Russian (Халимов А. Р., Мирзабаев М. Ж., Курмаев И. Т., Жайлаубаева А. С., Николаева А. В., Юнусов Р. Ю. и др. Поражения малоберцового нерва в практике невролога и нейрохирурга // Нейрохирургия и неврология Казахстана. 2023. № 1 (70). С. 17-24.)
 15. Maertens A, Kerluku J, Sacks H, Zanini S, Drakos M, Wolfe S, et al. Outcomes following early combined nerve and tendon transfer for foot drop after multi-ligamentous knee injury: long term results of two patients. *Ortho Surg Ortho Care Int J.* 2022; 2(4): 100015. DOI: 10.31031/OOIJ.2022.02.000543.
 16. Gatskiy AA, Tretyak IB, Tretiakova AI, Tsybaliuk YV. Choosing the target wisely: partial tibial nerve transfer to extensor digitorum motor branches with simultaneous posterior tibial tendon transfer. Could this be a way to improve functional outcome and gait biomechanics? *J Neurosurg.* 2019;133(1):224-232. DOI: 10.3171/2019.3.JNS182866.
 17. Ho B, Khan Z, Switaj PJ, Ochenjele G, Fuchs D, Dahl W, et al. Treatment of peroneal nerve injuries with simultaneous tendon transfer and nerve exploration. *J Orthop Surg Res.* 2014;9:67. DOI: 10.1186/s13018-014-0067-6.

Сведения об авторах:

Исенгалиев Ильяс Нуртуганович — врач-нейрохирург 22-го нейрохирургического отделения ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» Минобороны России; пл. Госпитальная, д.1-3, стр.1, вн. тер. г. муниципальный округ Басманный, г. Москва, Россия, 105094. eLIBRARY.RU SPIN: 4061-9757. <https://orcid.org/0000-0002-6444-4757>

Гизатуллин Шамиль Хамболович — д.м.н., профессор, начальник нейрохирургического центра ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» Минобороны России; пл. Госпитальная, д.1-3, стр.1, вн. тер. г. муниципальный округ Басманный, г. Москва, Россия, 105094. <https://orcid.org/0000-0002-2953-9902>

Гайворонский Алексей Иванович — д.м.н., профессор, профессор кафедры нейрохирургии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044. eLIBRARY.RU SPIN: 7011-6279. <https://orcid.org/0000-0003-1886-5486>

Киселева Александра Юрьевна (автор для переписки) — клинический ординатор клиники нейрохирургии; слушатель Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044. <https://orcid.org/0009-0009-0776-949X>. E-mail: kiselevaalexa2001@yandex.ru

Петренко Елизавета Алексеевна — слушатель Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6, г. Санкт-Петербург, Россия. <https://orcid.org/0009-0006-6283-4088>

Information about authors:

Isengaliev Ilyas Nurtuganovich — neurosurgeon, 22nd neurosurgery unit, Main Military Clinical Hospital named after Academician N. N. Burdenko; Gospitalnaya Ploshchad, 1-3, building 1, internal territory of the Basmanny municipal district, Moscow, Russia, 105094. eLIBRARY.RU SPIN: 4061-9757. <https://orcid.org/0000-0002-6444-4757>

Gizatullin Shamil Khambalovich — MD, PhD, professor, chief of neurosurgery center, Main Military Clinical Hospital named after Academician N. N. Burdenko; Gospitalnaya Ploshchad, 1-3, building 1, internal territory of the Basmanny municipal district, Moscow, Russia, 105094. <https://orcid.org/0000-0002-2953-9902>

Gaivoronsky Alexey Ivanovich — MD, PhD, professor, professor of neurosurgery department, Kirov Military Medical Academy; Academica Lebedeva St., 6, Saint Petersburg, Russia, 194044. eLIBRARY.RU SPIN: 7011-6279. <https://orcid.org/0000-0003-1886-5486>

Kiseleva Alexandra Yuryevna (author for correspondence) — clinical resident of neurosurgery unit; student of Kirov Military Medical Academy; Academica Lebedeva St., 6, Saint Petersburg, Russia, 194044. <https://orcid.org/0009-0009-0776-949X>. E-mail: kiselevaalexa2001@yandex.ru

Petrenko Elizaveta Alekseevna — student of Kirov Military Medical Academy; Academica Lebedeva St., 6, Saint Petersburg, Russia, 194044. <https://orcid.org/0009-0006-6283-4088>

Приймак Максим Александрович — врач-нейрохирург Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044. eLIBRARY.RU SPIN: 6826-2947. <https://orcid.org/0000-0003-4621-3442>

Статья поступила в редакцию 04.05.2026

Рецензирование пройдено 05.08.2026

Подписано в печать 31.08.2026

Priymak Maxim Alexandrovich — neurosurgeon, Kirov Military Medical Academy; Academica Lebedeva St., 6, Saint Petersburg, Russia, 194044. eLIBRARY.RU SPIN: 6826-2947. <https://orcid.org/0000-0003-4621-3442>

Received 04.05.2026

Review completed 05.08.2026

Passed for printing 31.08.2026



БЕДРЕННО-БОЛЬШЕБЕРЦОВОЕ СИНОСТОЗИРОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ ПЕРИПРОТЕЗНОЙ ИНФЕКЦИИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОПЕРАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ИНТРАМЕДУЛЛЯРНОЙ И ВНЕШНЕЙ ФИКСАЦИИ

FEMOROTIBIAL SYNOSTOSIS IN PERIPROSTHETIC JOINT INFECTION: COMPARATIVE ANALYSIS OF OPERATIVE PARAMETERS USING INTRAMEDULLARY NAIL AND EXTERNAL FIXATION

Бугаев Г.А. Виноградский А.Е. Борзунов Д.Ю.
Bugaev G.A. Vinogradsky A.E. Borzunov D.Yu.

ГАУЗ СО «Свердловский областной клинический госпиталь для ветеранов войн имени С.И. Спектора»,
 ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России,
 г. Екатеринбург, Россия

Sverdlovsk Regional Clinical Psychoneurological Hospital for War Veterans,
 Ural State Medical University,
 Yekaterinburg, Russia

Бедренно-большеберцовое синостозирование (ББС) при перипротезной инфекции (ППИ) относится к вмешательствам спасения нижней конечности и применяется у пациентов с тяжелым инфекционным процессом и значительными по величине дефектами нижней конечности. В литературе основное внимание уделяется показателям инфекционного контроля, синостозирования и анатомо-функциональным исходам лечения. Операционные параметры, отражающие длительность вмешательства, объем кровопотери и потребность в гемотрансфузионной поддержке при различных способах фиксации, представлены ограниченно.

Цель исследования — провести сравнительный анализ длительности оперативного вмешательства, объема кровопотери и частоты гемотрансфузии при формировании ББС с использованием интрамедуллярного стержня и аппарата Илизарова у пациентов с ППИ коленного сустава.

Материалы и методы. Выполнено ретроспективное исследование исходов лечения 46 пациентов, которым формировали ББС. Интрамедуллярный стержень (ИС) применен в 25 случаях (группа 1), аппарат Илизарова (АИ) — в 21 клиническом наблюдении (группа 2). Оценивали длительность операции, интраоперационную, дренажную и суммарную кровопотерю, а также частоту гемотрансфузии. Дополнительно выполнен анализ указанных параметров в зависимости от структуры костных дефектов по AORI (III и I-II типы).

Результаты. Продолжительность оперативного вмешательства значительно различалась между группами и была меньше в группе 1 (ИС; $p < 0,001$). При этом объем суммарной, интраоперационной и дренажной кровопотери значительно преобладал при выполнении остеосинтеза ИС ($p < 0,001$). Гемотрансфузию реже проводили в группе 2 (АИ; $p = 0,002$). Установлена связь костных дефектов III типа (по AORI) с большим объемом суммарной кровопотери ($p = 0,0488$).

Femorotibial synostosis (FTS) in periprosthetic joint infection (PJI) is a limb-salvage procedure used in patients with severe infection and extensive bone defects. The literature primarily focuses on infection control, fusion rates and functional outcomes. However, operative parameters such as duration of surgery, blood loss and frequency of blood transfusions with different fixation methods are poorly reported.

Objective — to perform a comparative analysis of operative time, blood loss and transfusion rate in femorotibial synostosis using an intramedullary nail and the Ilizarov frame in patients with knee PJI.

Materials and methods. A retrospective study of the 46 patients who underwent FTS was performed. Intramedullary nailing (IMN) was used in 25 cases (group 1) and the Ilizarov frame (IF) in 21 cases (group 2). The duration of surgery, intraoperative, drainage and total blood loss, as well as transfusion rate were assessed. A subgroup analysis was performed according to bone severity based on the AORI classification (types III and I-II).

Results. Operative time was significantly shorter in the IMN group compared to the IF group ($p < 0.001$). However, intraoperative, drainage and total blood loss were significantly higher in the IMN group ($p < 0.001$). Blood transfusion was required less frequently in the IF group ($p = 0.002$). AORI type III defects were associated with greater total blood loss compared to types I-II ($p = 0.0488$).



Для цитирования: Бугаев Г.А., Виноградский А.Е., Борзунов Д.Ю. БЕДРЕННО-БОЛЬШЕБЕРЦОВОЕ СИНОСТОЗИРОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ ПЕРИПРОТЕЗНОЙ ИНФЕКЦИИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОПЕРАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ИНТРАМЕДУЛЛЯРНОЙ И ВНЕШНЕЙ ФИКСАЦИИ //ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2026. № 3. С. 55-62.

Режим доступа: <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/675>

DOI: 10.24412/1819-1495-2026-3-55-62

Заключение. Использование интрамедуллярного стержня при формировании ББС ассоциировано с меньшей продолжительностью операции, но с большим объемом потери крови и более высокой потребностью в гемотрансфузии по сравнению с остеосинтезом аппаратом внешней фиксации. Дальнейшие исследования с учетом клинических и инфекционных факторов позволят уточнить интерпретацию полученных результатов.

Ключевые слова: бедренно-большеберцовое синостозирование; артродез коленного сустава; перипротезная инфекция; кровопотеря; длительность операции; гемотрансфузия

Conclusion. The use of an intramedullary nail in femorotibial synostosis is associated with shorter operative time but greater blood loss and a higher transfusion rate compared to external fixation. Further studies incorporating clinical and infection-related factors are needed to refine the interpretation of these findings.

Keywords: femorotibial synostosis; knee arthrodesis; periprosthetic joint infection; blood loss; operative time; blood transfusion

Перипротезная инфекция (ППИ) коленного сустава остается одним из наиболее тяжелых осложнений эндопротезирования. ППИ развивается у 1–2% пациентов после первичной артропластики и у 4–10% пациентов после ревизионных вмешательств [1]. По данным Датского национального регистра, отмечается рост частоты ревизионных операций на коленном суставе по поводу ППИ до 0,7% [2]. Существенным фактором утяжеления течения ППИ является распространение антибиотикорезистентности, увеличение доли метициллин-резистентных *Staphylococcus aureus* (MRSA) [3] и грамотрицательных возбудителей [4]. Персистирование инфекционного процесса во многом обусловлено способностью микроорганизмов формировать биопленки на поверхности имплантов и губчатой костной ткани, что снижает эффективность антибактериальной терапии и хирургических этапов санации [5]. Рецидивирующее течение ППИ и необходимость многократных санирующих вмешательств сопровождаются утратой костного остова бедренной и большеберцовой костей с формированием обширных дефектов. Это ограничивает возможности реэндопротезирования и повышает актуальность спасательных операций на нижней конечности.

Бедренно-большеберцовое синостозирование (ББС) при ППИ относится к числу наиболее травматичных реконструктивных вмешательств в хирургии коленного сустава, его применяют в случаях невозможности проведения ревизионной артропластики. По результатам исследований, частота артродезирующих операций после первичной артропластики коленного сустава составляет 0,26% [6]. После ревизионных вмешательств по поводу ППИ данный показатель достигает 2,7% [7].

Современные исследования, посвященные ББС, преимущественно сосредоточены на показателях инфекционного контроля, сроках синостозиро-

вания и функциональных исходах лечения [8, 9]. В то же время операционные параметры, включая длительность вмешательства, объем кровопотери и потребность в гемотрансфузионной поддержке, представлены в литературе ограниченно, что затрудняет оценку хирургической нагрузки и планирование периоперационного ведения пациентов.

Цель исследования — провести сравнительный анализ длительности оперативного вмешательства, объема кровопотери и частоты гемотрансфузии при формировании ББС с использованием интрамедуллярного стержня (ИС) и аппарата Илизарова (АИ) у пациентов с ППИ коленного сустава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Настоящее ретроспективное исследование является продолжением ранее опубликованного анализа клинических исходов лечения пациентов с ППИ коленного сустава, которым выполнено ББС [10]. В рамках данной работы проведена оценка операционных показателей при использовании различных технологий остеосинтеза.

В исследование включены 46 пациентов с ППИ коленного сустава, которым выполняли ББС как спасательный этап лечения при невозможности ревизионного эндопротезирования. Пациенты были распределены на группы в зависимости от метода фиксации. В группу 1 (где использовался ИС) вошли 25 пациентов, в группу 2 (в которой применялся АИ) — 21 человек. Группы были сопоставимы по основным клинико-демографическим характеристикам. В исследуемой когорте преобладали женщины — 67,4 % ($n = 31$), доля мужчин составила 32,6 % ($n = 15$). Возраст пациентов — $68,0 \pm 11,6$ года, индекс массы тела — $28,7 \pm 3,99$ кг/м². Статистически значимых различий по указанным параметрам между группами не выявлено ($p > 0,05$).

Не включали пациентов с неполными сведениями об оперативном вме-

шательстве и данными послеоперационного периода, необходимыми для оценки анализируемых операционных параметров.

В качестве операционных параметров рассматривали длительность хирургического вмешательства, объем интраоперационной, дренажной и суммарной кровопотери, а также потребность в проведении гемотрансфузии. Указанные данные рассматривались как количественные характеристики хирургической нагрузки вмешательства и оценивались без учета влияния сопутствующей патологии, выраженности инфекционного процесса и предшествующих этапов лечения, что обусловлено ретроспективным дизайном и ограничениями доступной информации.

Длительность операции определяли от момента выполнения разреза кожи до завершения наложения асептической повязки в минутах. Объем интраоперационной кровопотери устанавливали волюметрическим и гравиметрическим методами: объем аспирированной жидкости оценивали по градуированной емкости аспиратора с вычитанием объема промывных растворов [11], а также по разнице массы сухого и пропитанного кровью операционного материала (марлевые салфетки и тампоны) с пересчетом в миллилитры [12]. Дренажную кровопотерю определяли по объему отделяемого по дренажам из полостей после ревизии за первые 24 часа после операции. Суммарную кровопотерю рассчитывали как сумму интраоперационной и дренажной потери крови. Решение о проведении гемотрансфузии принимали на основании клинико-лабораторных показателей (гемоглобин, эритроциты, гематокрит), гемодинамического статуса пациента и клинических проявлений синдрома анемии, в соответствии с действующими клиническими рекомендациями и локальными протоколами учреждения. Применение антифибринолитической терапии было

стандартизировано для пациентов обеих групп. Всем пациентам однократно внутривенно вводили 1000 мг транексамовой кислоты во время оперативного вмешательства.

Дополнительно проведен анализ исследуемых показателей в зависимости от структуры костных дефектов по классификации AORI (англ.: Anderson Orthopaedic Research Institute) [13] с распределением пациентов на подгруппы: с дефектами III и I-II типов.

Исследование выполнено с использованием обезличенных данных медицинской документации. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом ГАУЗ СО «Свердловский областной клинический госпиталь для ветеранов войн имени С.И. Спектора» (г. Екатеринбург, протокол № 9/2025 от 02.10.2025).

Статистическую обработку данных выполняли с применением пакета программного обеспечения Microsoft Excel (версия 16.75.2, США) и Jamovi (версия 2.6.17, Австралия). Количественные показатели представляли в виде среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm SD$), либо медианы и межквартильного интервала ($Me [Q1; Q3]$) в зависимости от характера распределения. Межгрупповые различия количественных переменных оценивали с применением критерия U Манна – Уитни, категориальных – с использованием точного критерия Фишера. На основе анализа таблиц сопряженности оценивали ассоциацию метода фиксации с потребностью проведения заместительной терапии компонентами крови с расчетом относительного риска (RR) и 95 % доверительного интервала (ДИ). Дополнительно выполнено сравнение указанных параметров между под-

группами (AORI III и I-II тип). Уровень статистической значимости принимали как $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ объема кровопотери и длительности оперативного вмешательства

Показатели интраоперационной, дренажной и суммарной кровопотери продемонстрировали статистически значимые межгрупповые различия (табл. 1). В группе 1 (ИС) медианные значения всех указанных параметров были существенно выше, чем в группе 2 (АИ; $p < 0,05$).

Продолжительность оперативного вмешательства в группе 1 составила $100 \pm 31,5$ минуты, в группе 2 – $176 \pm 27,8$ минуты (рис. 1), что подтверждает высокую статистическую значимость различий ($p < 0,001$).

Анализ относительных различий показал, что в группе 1 средняя длительность операции была ниже на 41,2%, однако медиана суммарной кровопотери превышала аналогичный показатель группы 2 на 80,0 % ($p < 0,001$).

Анализ частоты гемотрансфузии

Заместительная терапия компонентами крови потребовалась 18 пациентам (39,1 %) от общей выборки. Частота проведения гемотрансфузии достоверно различалась в зависимости от используемого метода фиксации (рис. 2): в группе ИС трансфузия эритроцитсодержащих компонентов крови потребовалась 15 (60 %) пациентам, в группе АИ – 3 (14,3 %) ($\chi^2 = 10,0$; $p = 0,002$). RR проведения гемотрансфузии при использовании интрамедуллярного стержня составил 2,33 (95% ДИ: 1,36–4,00).

Анализ исследуемых показателей в зависимости от структуры костных дефектов

Значительные по величине костные дефекты III типа (F3/T3) выявлены у 13 (28,3 %) пациентов. Дефекты I и II типов верифицировали у 33 (71,7 %) больных (табл. 2).

Медиана суммарной кровопотери у пациентов с дефектами III типа была значимо выше, чем при патологии I и II типов, и составила 800 [650; 1000] против 600 [450; 900] мл соответственно ($p = 0,0488$). Статистически значимых межгрупповых различий по таким показателям, как длительность оперативного вмешательства и частота проведения гемотрансфузии, обнаружено не было ($p > 0,05$).

ОБСУЖДЕНИЕ

В имеющихся публикациях основная цель авторов сводится к освещению вопросов эрадикации инфекции и синостозирования коленного сустава в контексте сравнения эффективности различных методик фиксации. При этом аспекты, характеризующие интраоперационное течение вмешательства – включая длительность операции, объем кровопотери и потребность в гемотрансфузионной поддержке – освещены фрагментарно.

Результаты настоящего исследования продемонстрировали, что выбор метода фиксации напрямую влияет на указанные операционные параметры. Так, применение ИС позволяет сократить продолжительность оперативного вмешательства, однако ассоциировано с большим объемом кровопотери и более высокой частотой проведения гемотрансфузий по сравнению с АИ [14, 15]. Следует учитывать, что на данные показатели могут влиять

Таблица 1
Сравнительная характеристика показателей кровопотери между группами, Me [Q1; Q3]
Table 1
Comparison of blood loss parameters between groups, Me [Q1; Q3]

Категория Category	Группа 1 / Group 1 (n = 25)	Группа 2 / Group 2 (n = 25)	p-value
Интраоперационная, мл / Intraoperative, ml	600 [400; 900]	300 [200; 400]	< 0.001
Дренажная, мл / Drainage, ml	300 [200; 400]	200 [150; 250]	0.011
Суммарная, мл / Total, ml	900 [700; 1150]	500 [450; 600]	< 0.001

Примечание: Me — медиана; Q1 и Q3 — первый и третий квартили распределения данных. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$ (тест Манна – Уитни).

Note: Me — the median; Q1 and Q3 — the first and third quartiles of the data distribution. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$ (Mann Whitney test).

исходный соматический статус пациента, выраженность инфекционного процесса и характер предшествующих этапов лечения. В рамках настоящей работы изолированный анализ этих факторов не проводился. Кроме того, в доступной литературе отсутствуют исследования, оценивающие влияние интраоперационных параметров на отдаленные функциональные результаты и качество жизни пациентов после коленного артродеза (ББС), что определяет перспективность дальнейших научных изысканий.

Для описания «хирургической травматичности» в профильной литературе традиционно используются термины «операционная нагрузка», «surgical invasiveness» и «surgical trauma». В ряде работ длительность операции и объем кровопотери рассматриваются как количественные маркеры, позволяющие косвенно оценить масштаб вмешательства, и применяются при расчете индексов хирургической инвазивности. Стоит отметить, что разработка подобных инструментов носит единичный характер и ориентирована на конкретные типы операций. Например, адаптация интраоперационной прогностической шкалы Surgical Apgar Score (SAS) [16], применяемой в эндопротезировании коленного и тазобедренного суставов, к нашей когорте пациентов методологически неверна из-за выраженной неоднородности исходной тяжести клинических случаев. Специализированные подходы к оценке травматичности ББС в литературных источниках за последние 10 лет представлены лишь единичными публикациями.

В ходе анализа профильной литературы нами было найдено три оригинальных сравнительных исследования ББС с использованием ИС и АИ [17–19], а также 12 серий клинических наблюдений [20–31], в которых методики фиксации оценивались изолированно. Совокупный объем проанализированного материала составил 557 случаев ББС: в 357 наблюдениях вмешательство выполняли с применением ИС, в 200 — с использованием внешней фиксации.

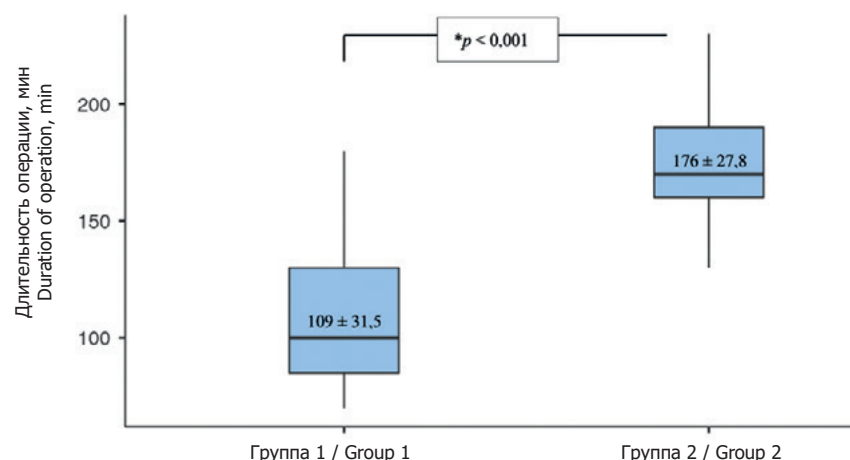
Следует отметить неоднородность применявшихся интрамедуллярных конструкций. Так, в 141 случае использовались модульные системы [20–22, 25, 30], а в 216 клинических наблюдениях — длинные (моноконтинентные) стержни

Рисунок 1

Продолжительность оперативного вмешательства в группах исследования

Figure 1

Distribution of operative time in study groups



Примечание. Здесь и на рисунке 2: АИ — аппарат Илизарова; ИС — интрамедуллярный стержень.

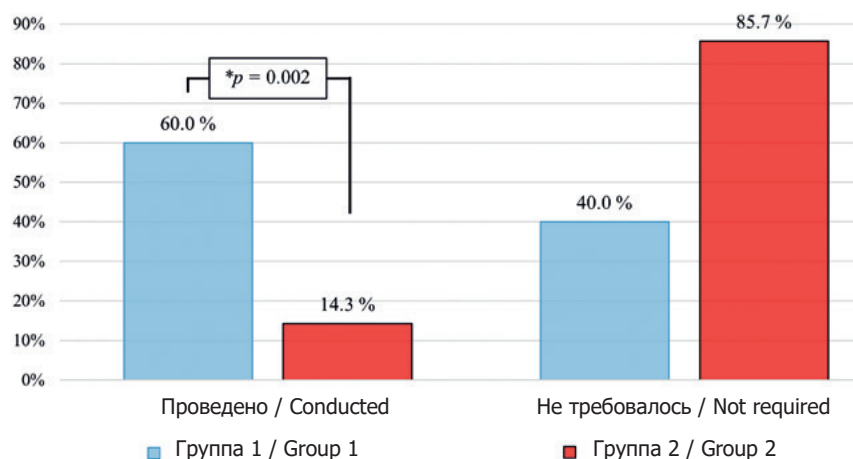
Note. Here and in Figure 2: IA — Ilizarov apparatus; IN — intramedullary nail.

Рисунок 2

Частота проведения гемотрансфузии в группах исследования

Figure 2

Transfusion rate in study groups



ни [17–19, 23, 24, 27–29]. Сводные данные показателей интраоперационной травматичности ББС при различных методиках фиксации систематизированы и представлены в таблице 3.

При анализе сводных данных во всех сравнительных исследованиях прослеживается единая тенденция: средние показатели кровопотери при ББС с использованием ИС превышают аналогичные значения, зарегистрированные при внешней фиксации. Так, в работе А.А. Суда и соавт. объем кровопотери в среднем составлял 883 мл при интрамедуллярном остеосинтезе

и 724 мл — в случаях применения аппаратов внешней фиксации, при этом продолжительность оперативного вмешательства в обеих группах была одинаковой и составила 142 мин [17].

Российские исследователи под руководством Л.Н. Соломина также отмечают статистически значимые различия в показателях травматичности между методиками ($p < 0,05$). По их данным, медианные значения интраоперационной кровопотери в группах ИС и АИ составили 700 мл и 500 мл соответственно. Различия зафиксированы и в продолжительности хирургиче-

Таблица 2
Операционные показатели в зависимости от типа дефектов (AORI)
Table 2
Operative parameters by bone defect types (AORI)

Переменная Variable	III тип AORI, Type III AORI (n=13)	I и II тип AORI, Type I and II AORI (n=33)	p-value
Суммарная кровопотеря, мл, Me [Q1; Q3] Total blood loss, ml, Me [Q1; Q3]	800 [650; 1000]	600 [450; 900]	0.0488*
Длительность операции, мин, M ± SD Duration of surgery, min, M ± SD	160 ± 47.3	132 ± 41.8	0.0918*
Гемотрансфузия, абс. (%) Blood transfusion, abs. (%)	8 (61.5)	10 (30.3)	0.0916**

Примечание: M — среднее значение; Me — Медиана; SD — стандартное отклонение; Q1 и Q3 — первый и третий квартили распределения данных; AORI — классификация дефектов костей, образующих коленный сустав (англ. Anderson Orthopaedic Research Institute, США); * — тест Манна-Уитни; ** — точный тест Фишера.

Note: M — the mean; Me — the median; SD — the standard deviation; Q1 and Q3 — the first and third quartiles of the data distribution; AORI classification of defects of the bones that form the knee joint (Anderson Orthopaedic Research Institute, USA); * — the Mann-Whitney test; ** — Fisher's exact test.

ского вмешательства, которая составила 100 ± 10 мин для группы ИС и 150 ± 15 мин для группы АИ ($p < 0,05$) [19].

В нашей работе получены сопоставимые результаты в отношении объема кровопотери и длительности операции в исследуемых группах, где также выявлена статистически значимая межгрупповая разница ($p < 0,05$). Мы разделяем мнение Л.Н. Соломина и соавт. [19] относительно причин большей потери крови в группе ИС: рассверливание костномозгового канала бедренной и большеберцовой костей при интрамедуллярном остеосинтезе неизбежно приводит к интенсивному кровотечению из поврежденных внутрикостных сосудов.

Противоположные данные о продолжительности операции приводят Т.М. Mabry и соавт. [18]. Среднее время выполнения ББС с использованием интрамедуллярного стержня составило в их исследовании 361 мин, тогда как в группе АИ длительность вмешательства равнялась 249 мин. Необходимо отметить и объем кровопотери при интрамедуллярной фиксации, который превышал результаты нашей работы в аналогичной группе практически в 2,2 раза, составив 1970 мл.

Эти данные согласуются с результатами более ранних публикаций, где приводятся средние значения кровопотери в пределах 1574–2975 мл и длительности операции 210–360 мин [24, 27]. В работах, опубликованных после 2000 года, регистрируется отчетливое

снижение этих параметров. Так, в них сообщается о кровопотере преимущественно в пределах 748–1143 мл и времени выполнения операции длинным ИС около 90–210 мин, что сопоставимо с нашими результатами [23, 29]. Полученные сведения позволяют предположить, что накопление хирургического опыта и стандартизация оперативной техники оказали положительное влияние на показатели интраоперационной травматичности ББС.

Отдельного рассмотрения требуют результаты ББС с применением модульных интрамедуллярных конструкций. По данным опубликованных серий наблюдений, медиана кровопотери при использовании модульных систем варьирует в широких пределах: от 468–753 мл в более ранних публикациях [21, 25, 30] до 921–1548 мл в современных работах [20, 22]. В нашем исследовании объем кровопотери и продолжительность операции при интрамедуллярной фиксации соответствуют нижнему диапазону указанных значений.

Сопоставление этих данных требует осторожности, поскольку модульные интрамедуллярные системы конструктивно и биомеханически отличаются от длинных (моноконтурных) стержней. В ряде клинических ситуаций их применение не предполагает непосредственного контакта костных фрагментов в зоне возможного синостоза. Подобные конструкции направлены прежде всего на достижение стабильной фиксации сегмента и могут рас-

цениваться как «внутреннее шинирующее устройство». На этом основании в современной зарубежной литературе наблюдается трансформация термина «modular knee arthrodesis» в «floating knee arthrodesis», отражающий вариант фиксации без обязательной костной консолидации [32].

Данные о трансфузионной нагрузке при ББС в литературе представлены фрагментарно. В работе А.Д. Суда и соавт. трансфузия эритроцитарной массы (ЭМ) потребовалась 58,5 % пациентов ($n = 89/152$), а свежезамороженной плазмы — 14,5 % больных ($n = 22/152$) [17]. В нашем исследовании суммарная частота переливания ЭМ по всей выборке оказалась значительно ниже и составила 39,1 % ($n = 18/46$). В других публикациях частота гемотрансфузий либо не приводится вовсе, либо упоминается без количественной детализации [27]. Наш сравнительный анализ методик фиксации при ББС показал, что РР проведения заместительной терапии компонентами крови в группе ИС составляет 2,33 (95% ДИ 1,36–4,00).

При подгрупповом анализе структуры дефектов костей, образующих коленный сустав, установлено значимое увеличение объема суммарной кровопотери при патологии III типа ($p < 0,05$). Стоит подчеркнуть, что публикации, содержащие сопоставимый анализ показателей интраоперационной травматичности ББС в зависимости от тяжести костных дефектов, в доступной литературе отсутствуют.

Таблица 3

**Сравнительные данные литературы по операционным показателям бедренно-большеберцового
синостозирования**

Table 3

Comparative literature data on operative parameters of femorotibial synostosis

Авторы, год Authors, year	Дизайн исследования Study design	Всего пациентов Total patients	Методика Technique	Объем кровопотери, мл Blood loss, ml	Длительность операции, мин Duration of operation, min
A.J. Suda et al., 2021 [17]	Сравнительное Comparative	152	ИС (длинный) / IN (long), n = 69	883	142
			АИ / IA, n = 83	724	
T.M. Mabry et al., 2007 [18]	Сравнительное Comparative	85	ИС (длинный) / IN (long), n = 24	1970	361
			АИ / IA, n = 61	935	249
Л.Н. Соломин и соавт., 2020 [19] L.N. Solomin et al., 2020 [19]	Сравнительное Comparative	60	ИС (длинный) / IN (long), n = 30	700 [300; 1100]	100 ± 10
			АИ / IA / n = 30	500 [200; 800]	150 ± 15
A. Luyet et al., 2023 [20]	Серия наблюдений Case series	48	ИС (модульный) IN (modular)	921 [50; 2500]	113,9 ± 22,4
K.A. Lai et al, 1998 [21]	Серия наблюдений Case series	33	ИС (модульный) IN (modular)	468	104 (65–155)
P. Hetto et al., 2025 [22]	Серия наблюдений Case series	31	ИС (модульный) IN (modular)	1548 [200; 4600]	160 (90–230)
S.J. Incavo et al., 2000 [23]	Серия наблюдений Case series	22	ИС (длинный) IN (long)	748 [200; 1600]	90
B.G. Donley et al., 1991 [24]	Серия наблюдений Case series	20	ИС (длинный) IN (long)	1574 [520; 3200]	250 (170–550)
R. Letartre et al., 2009 [25]	Серия наблюдений Case series	19	ИС (модульный) IN (modular)	710 [350; 1550]	143 (95–250)
A.A. Bruno et al., 2017 [26]	Серия наблюдений Case series	19	АИ IA	N/A	205
D.E. Ellingsen et al., 1994 [27]	Серия наблюдений Case series	18	ИС (длинный) / IN (long)	2975	360
D. Zajonz et al., 2021 [28]	Серия наблюдений Case series	18	ИС (длинный) IN (long)	N/A	167 (91–417)
J.R. Crockarell et al., 2005 [29]	Серия наблюдений Case series	15	ИС (длинный) IN (long)	1143	210
W. Barlett et al., 2011[30]	Серия наблюдений Case series	10	ИС (модульный) IN (modular)	753 [100; 2500]	141 (92–223)
D. Raskolnikov et al., 2013 [31]	Серия наблюдений Case series	7	АИ / IA	N/A	222 (91–450)
Настоящее исследование This study	Сравнительное Comparative	46	ИС (длинный) / IN (long), n = 25	900 [700; 1150]	100 ± 31.5
			АИ / IA, n = 21	500 [450; 600]	176 ± 27.8

Примечание: показатели объема кровопотери и длительности операции представлены в формате, указанном в оригинальных публикациях. АИ — аппарат Илизарова; ИС (длинный) — длинный интрамедуллярный стержень; ИС (модульный) — модульный интрамедуллярный стержень; N/A — данные не представлены авторами исследования.

Note: blood loss and operative time data are presented in the format described in the original publications. IA — Ilizarov apparatus; IN (long) — long intramedullary nail; IN (modular) — modular intramedullary nail; N/A — data not provided by the study authors.

Ограничения исследования

Настоящее исследование выполнено в ретроспективном дизайне и основано на анализе относительно небольшой выборки пациентов, что снижает статистическую мощность полученных результатов. Рандомизация при выборе метода фиксации не осуществля-

лась, поскольку хирургическую тактику определяли строго по клиническим показаниям. В рамках данной работы не оценивалось влияние коморбидного статуса, тяжести инфекционного процесса и количества ранее выполненных оперативных вмешательств на изучаемые параметры.

Оценку интраоперационной кровопотери проводили прямыми методами — волюметрическим и гравиметрическим. Данные подходы широко распространены в клинической практике, однако характеризуются известной измерительной вариабельностью. Несмотря на то, что все оперативные

вмешательства выполнялись одним коллективом авторов с использованием единых технических стандартов, смена роли ведущего хирурга в ходе работы могла внести определенный вклад в разброс интраоперационных показателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ББС, выполняемое в условиях ППИ, характеризуется значительной вариабельностью интраоперационных показателей, обусловленной выбором технологии остеосинтеза, дизайном фиксирующей конструкции и тяжестью костных дефектов. Результаты

исследования свидетельствуют о том, что применение интрамедуллярного стержня позволяет сократить продолжительность вмешательства, однако ассоциировано с большим объемом кровопотери и более высокой потребностью в гемотрансфузионной поддержке по сравнению с использованием аппаратов внешней фиксации.

Учет анатомо-функциональных особенностей сформированных костных дефектов имеет ключевое значение для прецизионной оценки периоперационных рисков и оптимизации хирургической тактики. Дальнейшие проспективные исследования, включа-

ющие детальный анализ соматических и инфекционных факторов, позволят объективизировать интерпретацию полученных данных и разработать дифференцированные показания к выбору метода стабилизации сегмента.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Andres AH, Chaold-Lösing JA, Bulok H, Willburger RE. Difficulty of diagnostic accuracy of periprosthetic joint infection: a retrospective analysis of revision surgery of total hip arthroplasty and total knee arthroplasty in a tertiary hospital. *BMC Musculoskelet Disord*. 2024;25(1):1008. DOI: 10.1186/s12891-024-08071-z.
- Anneberg M, Troelsen A, Gundtoft P, Sørensen HT, Pedersen AB. Temporal trends in revision rate due to knee periprosthetic joint infection: a study of 115,120 cases from the Danish Knee Arthroplasty Register. *Acta Orthop*. 2023;94:616-624. DOI: 10.2340/17453674.2023.33294.
- Hays MR, Kildow BJ, Hartman CW, Lyden ER, Springer BD, Fehring TK, et al. Increased incidence of methicillin-resistant staphylococcus aureus in knee and hip prosthetic joint infection. *J Arthroplasty*. 2023;38(6S):S326-S330. DOI: 10.1016/j.arth.2023.02.025.
- Kasimova AR, Tufanova OS, Gordina EM, Gvozdetzky AN, Radaeva KS, Rukina AN, et al. Twelve-year dynamics of leading pathogens spectrum causing orthopedic infection: a retrospective study. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2024;30(1):66-75. DOI: 10.17816/2311-2905-16720. Russian (Касимова А. Р., Туфанова О. С., Гордина Е. М., Гвоздецкий А. Н., Радаева К. С., Рукина А. Н. и др. Двенадцатилетняя динамика спектра ведущих возбудителей ортопедической инфекции: ретроспективное исследование // Травматология и ортопедия России. 2024. № 30(1):66-75. DOI: 10.17816/2311-2905-16720.)
- Sahoo K, Meshram S. Biofilm formation in chronic infections: a comprehensive review of pathogenesis, clinical implications, and novel therapeutic approaches. *Cureus*. 2024;16(10):e70629. DOI: 10.7759/cureus.70629.
- Gottfriedsen TB, Schröder HM, Odgaard A. Knee arthrodesis after failure of knee arthroplasty: a nationwide register-based study. *J Bone Joint Surg Am*. 2016;98(16):1370-1377. DOI: 10.2106/JBJS.15.01363.
- Son MS, Lau E, Parvizi J, Mont MA, Bozic KJ, Kurtz S. What are the frequency, associated factors, and mortality of amputation and arthrodesis after a failed infected TKA? *Clin Orthop Relat Res*. 2017;475(12):2905-2913. DOI: 10.1007/s11999-017-5285-x.
- Mercurio M, Gasparini G, Cofano E, Zappia A, Familiari F, Galasso O. Knee arthrodesis for periprosthetic knee infection: fusion rate, complications, and limb salvage-a systematic review. *Healthcare (Basel)*. 2024;12(7):804. DOI: 10.3390/healthcare12070804.
- Conway JD, Annasamudram A, Abalkhail T, Tom JH, Farley RP, Gesheff M, et al. Functional outcomes of knee arthrodesis for infected total knee arthroplasty. *Cureus*. 2023;15(10):e46397. DOI: 10.7759/cureus.46397.
- Bugaev GA, Vinogradsky AE, Prokopyev DS, Borzunov DYU. Comparative analysis of femoro-tibial synostosis results in periprosthetic infection. *Genius of Orthopedics*. 2025;31(5):574-586. DOI:10.18019/1028-4427-2025-31-5-574-586. Russian (Быраев Г. А., Виноградский А. Е., Прокопьев Д. С., Борзунов Д. Ю. Сравнительный анализ результатов бедренно-большеберцового синостозирования при перипротезной инфекции // Гений ортопедии. 2025. № 31(5):574-586. DOI:10.18019/1028-4427-2025-31-5-574-586.)
- Ishimaru D, Terabayashi N, Sohmiya K, Matsumoto K. Perioperative blood loss in cementless versus cemented total knee arthroplasty with local tranexamic acid administration. *Cureus*. 2025; 17(10):e93791. DOI: 10.7759/cureus.93791.
- Stoker AD, Binder WJ, Frasco PE, Morozowich ST, Bettini LM, Murray AW, et al. Estimating surgical blood loss: a review of current strategies in various clinical settings. *SAGE Open Med*. 2024; 12:20503121241308302. DOI: 10.1177/20503121241308302.
- Khan Y, Arora S, Kashyap A, Patralekh MK, Maini L. Bone defect classifications in revision total knee arthroplasty, their reliability and utility: a systematic review. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(1):453-468. DOI: 10.1007/s00402-022-04517-y.
- Holzer EM, Aghayev E, O'Riordan D, Fekete TF, Jeszenszky DJ, Haschtmann D, et al. Validation of a surgical invasiveness index in patients with lumbar spinal disorders registered in the Spine Tango registry. *Eur Spine J*. 2021;30(1):1-12. DOI: 10.1007/s00586-020-06651-w.
- Pulik Ł, Barszczak BM, Kowalski M, Łęgosz P. Enhancing bleeding control in total knee arthroplasty for osteoarthritis and rheumatic diseases: strategies and insights. *Rheumatology*. 2025;63(6):426-434. DOI:10.5114/reum/208945.
- Pittman E, Dixon E, Duttchen K. The Surgical Apgar Score: a systematic review of its discriminatory performance. *Ann Surg Open*. 2022;3(4):e227. DOI: 10.1097/AS9.0000000000000227.
- Suda AJ, Brachtendorf X, Tinelli M, Wagokh R, Abou-Nouar G, Bischel OE. Low complication rate and better results for intramedullary nail - arthrodesis for infected knee joints compared to external fixator-a series of one hundred fifty-two patients. *Int Orthop*. 2021;45(7):1735-1744. DOI: 10.1007/s00264-021-05054-w.
- Mabry TM, Jacofsky DJ, Haidukewych GJ, Hanssen AD. Comparison of intramedullary nailing and external fixation knee arthrodesis for the infected knee replacement. *Clin Orthop Relat Res*. 2007;464:11-15. DOI: 10.1097/BLO.0b013e31806a9191.
- Solomin LN, Shchepkina EA, Korchagin KL, Sabirov FK. Comparative analysis of knee joint fusion with long locking nail and Ilizarov apparatus in patients with feep infection after arthroplasty.

Traumatology and Orthopedics of Russia. 2020;26(3):109-118. DOI: 10.21823/2311-2905-2020-26-3-109-118. Russian (Соломин Л. Н., Щепкина Е. А., Корчагин К. Л., Сабиров Ф. К. Сравнительный анализ артродезирования коленного сустава длинными блокируемыми стержнями и аппаратом Илизарова при последствиях глубокой инфекции после эндопротезирования // Травматология и ортопедия России. 2020. № 26(3):109-118. DOI: 10.21823/2311-2905-2020-26-3-109-118.)

20. Luyet A, Steinmetz S, Gallusser N, Roche D, Fischbacher A, Tissot C, et al. Fusion rate of 89% after knee arthrodesis using an intramedullary nail: a mono-centric retrospective review of 48 cases. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2023;31(4):1299-1306. DOI: 10.1007/s00167-021-06693-7.
21. Lai KA, Shen WJ, Yang CY. Arthrodesis with a short Huckstep nail as a salvage procedure for failed total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 1998;80(3):380-8. DOI: 10.2106/00004623-199803000-00011.
22. Hetto P, Geisbüsch A, Lehner B. Results of knee arthrodesis using an intramedullary modular arthrodesis system after failed total knee arthroplasty after up to 17 years. *J Arthroplasty*. 2025; Aug 26:S0883-5403(25)01093-9. DOI: 10.1016/j.arth.2025.08.052.
23. Incavo SJ, Lilly JW, Bartlett CS, Churchill DL. Arthrodesis of the knee: experience with intramedullary nailing. *J Arthroplasty*. 2000;15(7):871-6. DOI: 10.1054/arth.2000.9060.
24. Donley BG, Matthews LS, Kaufer H. Arthrodesis of the knee with an intramedullary nail. *J Bone Joint Surg Am*. 1991;73(6):907-13.
25. Letartre R, Combes A, Autissier G, Bonneville N, Gougeon F. Knee arthrodesis using a modular customized intramedullary nail.

Orthop Traumatol Surg Res. 2009;95(7):520-528. DOI: 10.1016/j.otsr.2009.07.006.

26. Bruno AA, Kirienko A, Peccati A, Dupplicato P, De Donato M, Arnaldi E, et al. Knee arthrodesis by the Ilizarov method in the treatment of total knee arthroplasty failure. *Knee*. 2017;24(1):91-99. DOI: 10.1016/j.knee.2016.11.002.
27. Ellingsen DE, Rand JA. Intramedullary arthrodesis of the knee after failed total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 1994; 76(6):870-877. DOI: 10.2106/00004623-199406000-00011.
28. Zajonz D, Zimmerlich B, Möbius R, Edel M, Przybyl J, Höch A, et al. Knee arthrodesis as last resort for persistent knee joint infections: comparison of extramedullary and intramedullary treatment. *Orthopade*. 2021;50(3):207-213. DOI: 10.1007/s00132-020-03939-z.
29. Crockarell JR Jr, Mihalko MJ. Knee arthrodesis using an intramedullary nail. *J Arthroplasty*. 2005;20(6):703-708. DOI: 10.1016/j.arth.2004.10.015.
30. Bartlett W, Vijayan S, Pollock R, Skinner J, Blunn G, Cannon S, et al. The Stanmore knee arthrodesis prosthesis. *J Arthroplasty*. 2011;26(6):903-908. DOI: 10.1016/j.arth.2010.07.029.
31. Raskolnikov D, Slover JD, Egol KA. The use of a multiplanar, multi-axis external fixator to achieve knee arthrodesis in a worst case scenario: a case series. *Iowa Orthop J*. 2013;33:19-24.
32. Ortega-Yago A, Pedraza-Corbi A, Boadas-Gironès L, Lakhani K, Sabater-Martos M, Corona PS, et al. Floating knee arthrodesis after periprosthetic knee infection: a multi-center study. *J Arthroplasty*. 2025;40(7):1845-1851. DOI: 10.1016/j.arth.2024.12.009.

Сведения об авторах:

Бугаев Глеб Александрович (автор для переписки) — врач — травматолог-ортопед ГАУЗ СО «СОК Госпиталь для ветеранов войн им. С. И. Спектора»; ул. Соболева, д. 25, г. Екатеринбург, Россия, 620036. <https://orcid.org/0000-0002-0176-0090>. E-mail: glebbugaev97@gmail.com

Виноградский Александр Евгеньевич — к.м.н., ассистент кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО УГМУ Минздрава России; ул. Репина, д. 3., г. Екатеринбург, Россия, 620028. <https://orcid.org/0000-0003-2912-6291>. E-mail: vinalexc@mail.ru

Борзунов Дмитрий Юрьевич — д.м.н., профессор, профессор кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО УГМУ Минздрава России; ул. Репина, д. 3., г. Екатеринбург, Россия, 620028. <https://orcid.org/0000-0003-3720-5467>. E-mail: borzunov@bk.ru

Статья поступила в редакцию 05.05.2026

Рецензирование пройдено 02.07.2026

Подписано в печать 31.08.2026

Information about authors:

Bugaev Gleb Alexandrovich (author for correspondence) — orthopedic surgeon, Sverdlovsk Regional Clinical Hospital for War Veterans; Soboleva St., 25, Yekaterinburg, Russia, 620036. <https://orcid.org/0000-0002-0176-0090>. E-mail: glebbugaev97@gmail.com

Vinogradsky Alexander Evgenievich — candidate of medical sciences, assistant of department of traumatology and orthopedics, Ural State Medical University; Repina St., 3, Yekaterinburg, Russia, 620028. <https://orcid.org/0000-0003-2912-6291>. E-mail: vinalexc@mail.ru

Borzunov Dmitry Yurievich — MD, PhD, professor, professor of department of traumatology and orthopedics, Ural State Medical University; Repina St., 3, Yekaterinburg, Russia, 620028. <https://orcid.org/0000-0003-3720-5467>. E-mail: borzunov@bk.ru

Received 05.05.2026

Review completed 02.07.2026

Passed for printing 31.08.2026

ВЗАИМОСВЯЗЬ СИСТЕМЫ ГЕМОСТАЗА И ГИПОПРОТЕИНЕМИИ У ПАЦИЕНТОВ С ТЯЖЕЛОЙ СОЧЕТАННОЙ ТРАВМОЙ

INTERRELATION OF THE HEMOSTASIS SYSTEM AND HYPOPROTEINEMIA IN PATIENTS WITH SEVERE CONCOMITANT INJURIES

Мухамеджанов И.Р. Mukhamedzhanov I.R.
Коробко Ю.А. Korobko Yu.A.
Носов А.М. Nosov A.M.
Демченко К.Н. Demchenko K.N.
Струков Е.Ю. Strukov E.Yu.
Тимофеев К.Р. Timofeev K.R.
Егорова Е.Н. Egorova E.N.

ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия
им. С.М. Кирова» Минобороны России,
г. Санкт-Петербург, Россия

Kirov Military Medical Academy,
Saint Petersburg, Russia

Цель исследования — оценить взаимосвязь между степенью гипопроотеинемии и параметрами системы гемостаза у пациентов с тяжелой сочетанной травмой (ТСТ) при поступлении в первые 24 часа после травмы.

Материалы и методы. Проведен проспективный анализ данных 43 пострадавших с ТСТ. Пациенты были стратифицированы на 4 группы по уровню общего белка в плазме: группа 1 (норма, ≥ 60 г/л, $n = 6$), группа 2 (легкая недостаточность, 55–59 г/л, $n = 8$), группа 3 (средняя недостаточность, 50–54 г/л, $n = 9$), группа 4 (тяжелая недостаточность, < 50 г/л, $n = 20$). При поступлении выполнено комплексное лабораторное исследование, включая низкочастотную пьезоэлектрическую тромбозластографию (НПТЭГ).

Результаты. Выявлена статистически значимая связь между степенью гипопроотеинемии и нарушением гемостаза. В группе с тяжелой гипопроотеинемией зафиксированы минимальные значения эритроцитов ($2,7 [2,5-3,2] \times 10^{12}/л$), гемоглобина (88,5 [83,0–98,7] г/л) и фибриногена (2,6 [1,0–2,9] г/л). По данным НПТЭГ в этой группе выявлена выраженная гипокоагуляция: значимое снижение интенсивности контактной коагуляции (1,7 [0,0–6,6]), максимальной амплитуды (281,5 [192,7–341,5]) и константы тромбиновой активности (11,8 [4,4–36,7]) на фоне максимального значения интенсивности ретракции и лизиса сгустка (25,5 [5,6–87,8]). Корреляционный анализ выявил умеренные положительные связи уровня общего белка с концентрацией фибриногена ($r = 0,49$), максимальной амплитудой НПТЭГ ($r = 0,47$) и протромбиновым индексом ($r = 0,45$), а также отрицательную корреляцию с интенсивностью ретракции и лизиса сгустка ($r = -0,40$) и баллом по шкале ISS ($r = -0,46$).

Заключение. Тяжелая гипопроотеинемия у пациентов с ТСТ при поступлении ассоциирована с комплексной коагулопатией, характеризующейся угнетением контактной активации, снижением кинетики формирования и конечной прочности сгустка, а также активацией фибринолиза. Уровень общего белка является значимым ранним маркером риска развития коагулопатии и тяжести состояния.

Objective — to evaluate the relationship between the degree of hypoproteinemia and the parameters of the hemostasis system in patients with severe concomitant injury (SCI) upon admission in the first 24 hours after injury.

Materials and methods. A prospective data analysis of 43 patients with SCI was performed. The patients were stratified into 4 groups according to total plasma protein levels: group 1 (normal, ≥ 60 g/l, $n = 6$), group 2 (mild insufficiency, 55–59 g/l, $n = 8$), group 3 (moderate insufficiency, 50–54 g/l, $n = 9$), group 4 (severe insufficiency, < 50 g/l, $n = 20$). Upon admission, a comprehensive laboratory examination was performed, including low-frequency piezoelectric thromboelastography (NPTEG).

Results. A statistically significant relationship was found between the degree of hypoproteinemia and impaired hemostasis. In the group with severe hypoproteinemia, minimal values of red blood cells were recorded. ($2.7 [2.5-3.2] \times 10^{12}/l$), hemoglobin (88.5 [83.0–98.7] g/l) and fibrinogen (2.6 [1.0–2.9] g/l). According to the NPTEG data, pronounced hypocoagulation was detected in this group: a significant decrease in the intensity of contact coagulation (1.7 [0.0–6.6]), the maximum amplitude (281.5 [192.7–341.5]) and the constant of thrombin activity (11.8 [4.4–36.7]) against the background of the maximum intensity of clot retraction and lysis (25.5 [5.6–87.8]). Correlation analysis revealed moderate positive associations of the total protein level with the fibrinogen concentration ($r = 0.49$), the maximum NPTEG amplitude ($r = 0.47$) and the prothrombin index ($r = 0.45$), as well as a negative correlation with the intensity of clot retraction and lysis ($r = -0.40$) and the ISS score ($r = -0.46$).

Conclusion. Severe hypoproteinemia in patients with SCI upon admission is associated with complex coagulopathy characterized by inhibition of contact activation, decreased kinetics of clot formation and ultimate strength, as well as activation of fibrinolysis. The level of total protein is a significant early marker of the risk of developing coagulopathy and the severity of the condition.

Для цитирования: Мухамеджанов И.Р., Коробко Ю.А., Носов А.М., Демченко К.Н., Струков Е.Ю., Тимофеев К.Р., Егорова Е.Н. ВЗАИМОСВЯЗЬ СИСТЕМЫ ГЕМОСТАЗА И ГИПОПРОТЕИНЕМИИ У ПАЦИЕНТОВ С ТЯЖЕЛОЙ СОЧЕТАННОЙ ТРАВМОЙ //ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2026. № 3. С. 63-69.

Режим доступа: <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/702>

DOI: 10.24412/1819-1495-2026-3-63-69

Ключевые слова: сочетанная травма; гипопроотеинемия; общий белок; гемостаз; коагулопатия; низкочастотная пьезоэлектрическая тромбоэластография; гипокоагуляция

Keywords: concomitant injury; hypoproteinemia; total protein; hemostasis; coagulopathy; low-frequency piezoelectric thromboelastography; hypocoagulation

Тяжелая сочетанная травма (ТСТ) остается одной из ведущих причин смерти и инвалидизации населения в трудоспособном возрасте [1]. В ряду ключевых патологических процессов, определяющих исход при ТСТ, особое место занимает острая коагулопатия травмы, которая развивается у значительной части пострадавших и ассоциирована с многократным повышением летальности [2, 3].

Традиционная коагулограмма (протромбиновое время, международное нормализованное отношение (МНО), активированное частичное тромбопластиновое время (АЧТВ), фибриноген) не в полной мере отражает состояние системы гемостаза [4]. Низкочастотная пьезоэлектрическая тромбоэластография (НПТЭГ) обладает высокой информативностью, обеспечивая возможность оценки всего каскада свертывания крови — от формирования фибрина до фибринолиза [5, 6].

Уровень общего белка признан традиционным прогностическим фактором неблагоприятного исхода, однако его роль в модуляции гемостаза в первые часы после травмы изучена недостаточно. Гипопроотеинемия может быть маркером не только исходного нутритивного дефицита, но и тяжести травмы или кровопотери, а также отражать нарушение синтетической функции печени, продуцирующей факторы свертывания [7].

В последнее время активно исследуется взаимосвязь между белковой недостаточностью (в частности, дефицитом альбумина) и состоянием системы гемостаза. Гипоальбуминемия до сих пор не входит ни в одну из валидированных шкал оценки риска кровотечений (таких как HAS-BLED, ORBIT или DOAC), оставаясь перспективным, но еще не внедренным в практику маркером [8].

Развивающаяся при ТСТ гипопроотеинемия может не просто отражать нутритивный дефицит, а являться маркером глубокой функциональной перестройки организма. В условиях системного воспалительного ответа печень перераспределяет свои ресурсы с синтеза структурных белков (в частности, альбумина) на приоритетную выработку белков острой фазы, вклю-

чая фибриноген и другие факторы свертывания. Однако при исчерпании резервов этот адаптационный механизм становится несостоятельным, что и проявляется в виде комплексной коагулопатии [9].

Цель исследования — оценить взаимосвязь между степенью гипопроотеинемии и параметрами системы гемостаза у пациентов с ТСТ при поступлении в первые 24 часа после травмы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено проспективное одноцентровое сравнительное исследование. Все данные собирали проспективно по унифицированному протоколу, включая фиксацию наличия и степени тяжести травматического шока, объема проведенной инфузионно-трансфузионной и гемостатической терапии, а также лабораторных показателей и параметров НПТЭГ при поступлении. Исследование было одобрено локальным независимым этическим комитетом при Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (протокол № 296 от 19 ноября 2024 г.).

Критерии включения: пострадавшие мужского пола в возрасте от 18 до 58 лет, поступившие в порядке перевода из другого лечебно-профилактического учреждения в сроки до 24 часов с момента получения травмы.

Критерии исключения: термический или комбинированный характер травмы; применение терапевтических доз антикоагулянтов; наличие в анамнезе сопутствующей патологии, влияющей на гемостаз (декомпенсированные заболевания печени и почек, онкогематологические заболевания, наследственные коагулопатии).

На основе данных о концентрации общего белка пациенты были stratифицированы на четыре группы в соответствии с критериями, изложенными в клинических рекомендациях по периоперационной нутритивной поддержке [10]:

- группа 1 (норма): уровень общего белка ≥ 60 г/л ($n = 6$);
- группа 2 (легкая недостаточность): уровень общего белка 55–59 г/л ($n = 8$);
- группа 3 (средняя недостаточность): уровень общего белка 50–54 г/л ($n = 9$);

- группа 4 (тяжелая недостаточность): уровень общего белка < 50 г/л ($n = 20$).

Взятие венозной крови для комплексного лабораторного обследования выполняли в течение первого часа с момента поступления пациента в стационар. Для проведения НПТЭГ кровь получали исключительно из периферической вены верхней конечности с минимальным венозным стазом; анализ образцов осуществляли немедленно. Для остальных тестов кровь забирали либо из установленного центрального венозного катетера, либо, при его отсутствии, из периферической вены.

Образцы для коагулологического и биохимического анализов сразу после взятия центрифугировали при 3000 об/мин в течение 10 минут. Полученную плазму и сыворотку аликвотировали и замораживали при температуре -20 °C. В замороженном виде биоматериал транспортировали в лабораторию, где исследования выполняли в течение 24 часов после доставки.

При выполнении НПТЭГ кровь переносили из шприца в одноразовую кювету анализатора АРП-01М «Меднорд» (Россия) с программным обеспечением «Гемо-5». Метод основан на регистрации изменений сопротивления крови колебаниям иглы-резонатора, соединенной с пьезоэлектрическим датчиком [6]. В ходе исследования автоматически рассчитывали ключевые параметры: интенсивность контактной коагуляции (ИКК), максимальную амплитуду (МА), отражающую максимальную плотность сгустка, а также интенсивность ретракции и лизиса сгустка (ИРЛС).

Общий клинический анализ крови выполняли на гематологическом анализаторе Mindray BC-30s. Биохимические показатели определяли на системе Mindray BS-620. Коагулограмму (протромбиновое время, АЧТВ, фибриноген) исследовали методом коагулометрии на аппарате Siemens CA-600s.

Статистическую обработку данных выполняли с помощью программного обеспечения IBM SPSS Statistics for Windows (версия 27.0.1; IBM Corp., Армонк, Нью-Йорк, США). Соответствие количественных переменных закону

нормального распределения оценивали с помощью визуального анализа гистограмм и графиков квантиль-квантиль (Q-Q plots), а также с использованием критерия Шапиро — Уилка. Поскольку распределение всех анализируемых показателей значимо отличалось от нормального, количественные данные представлены в виде медианы и межквартильного размаха: Me [Q1–Q3]. Сравнение количественных показателей между четырьмя группами проводили с использованием непараметрического критерия Краскела — Уоллиса. При обнаружении статистически значимых различий выполняли последующие попарные сравнения с помощью критерия Манна — Уитни с применением поправки Бонферрони для коррекции уровня значимости при множественных проверках гипотез. Сравнение номинальных (категориальных) переменных осуществляли с помощью критерия χ^2 Пирсона. Для оценки взаимосвязи между признаками рассчитывали коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r). Стати-

стически значимыми считали различия при значении $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

У пациентов с ТСТ выявлена статистически значимая связь между уровнем общего белка в сыворотке крови при поступлении и параметрами системы гемостаза (табл. 1). В группе с тяжелой гипопротемией (группа 4) зафиксировано значимо большее количество баллов по шкале ISS ($p = 0,016$) и статистически значимое увеличение частоты развития травматического шока ($p = 0,011$). Объем инфузионно-трансфузионной терапии, выполненной на предыдущем этапе оказания медицинской помощи, также был максимальным в этой группе, что свидетельствует о более выраженной кровопотере и исходной тяжести состояния пострадавших.

Лабораторные показатели при поступлении подтвердили наличие значимых нарушений (табл. 2). У пациентов с тяжелой гипопротемией выявлена выраженная анемия, о чем сви-

детельствовали минимальные значения концентрации эритроцитов, гемоглобина и уровня гематокрита (для всех показателей $p < 0,001$). В системе гемостаза, по данным стандартной коагулограммы, в этой группе обнаружено статистически значимое снижение концентрации фибриногена ($p = 0,009$) и протромбинового индекса ($p = 0,010$). При этом количество тромбоцитов, протромбиновое время, МНО и АЧТВ значимо между группами не различались.

Наиболее полную и интегральную характеристику коагулопатии обеспечил метод НПТЭГ (табл. 3). У пациентов группы 4 была зарегистрирована комплексная гипокоагуляция. Она проявлялась статистически значимым угнетением контактной фазы свертывания (снижением ИКК), замедлением тромбиновой генерации (снижением КТА), нарушением конечной прочности сгустка (снижением МА) и признаками активации фибринолиза (повышением ИРЛС). Статистически значимые различия между анализируемы-

Таблица 1
Характеристика пациентов и объем предшествующей терапии в группах с разным уровнем общего белка
Table 1
Patient characteristics and prior therapy in groups with different total protein levels

Показатель Value	Группа 1 Group 1 (n = 6)	Группа 2 Group 2 (n = 8)	Группа 3 Group 3 (n = 9)	Группа 4 Group 4 (n = 20)	p
Возраст, годы / Age, years, Me [Q1–Q3]	29.0 [25.7–33.5]	38.0 [32.5–45.0]	30.0–48.0]	38.0 [34.2–45.5]	0.118
Время от ранения до поступления, часы Time from injury to admission, hours, Me [Q1–Q3]	12:12 [6:36–15:37]	14:35 [9:45–16:27]	10:05 [7:50–17:22]	10:10 [6:26–16:01]	0.742
Тяжесть по шкале ISS, баллы Severity according to ISS, points	10.5 [5.5–16.2]	11.0 [8.2–17.0]	10.0 [9.0–22.0]	18.0 [16.0–32.0]	0.016*
Общий белок, г/л Total protein, g/l, Me [Q1–Q3]	64.0 [61.4–67.4]	57.3 [55.5–58.5]	53.0 [51.3–54.2]	43.5 [37.7–47.7]	< 0.001*
Лимфоциты тыс./мкл Lymphocytes (thousands/ μ l), Me [Q1–Q3]	1050.0 [800.0–1550.0]	1950.0 [975.0–2375.0]	800.0 [450.0–1450.0]	950.0 [715.0–1375.0]	0.154
Наличие шока / Presence of shock, n (%):					0.011*
нет шока / no shock	4 (66.7)	5 (62.5)	4 (44.4)	4 (20.0)	
I степень / degree I	2 (33.3)	3 (37.5)	3 (33.3)	5 (25.0)	
II степень / degree II	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (11.1)	3 (15.0)	
III степень / degree III	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	5 (25.0)	
IV степень / degree IV	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (11.1)	3 (15.0)	
Свежезамороженная плазма, мл Fresh frozen plasma, ml, Me [Q1–Q3]	0.0 [0.0–187.5]	120.0 [0.0–551.2]	600.0 [290.0–825.0]	775.0 [0.0–1477.5]	0.035*
Эритроцитарная масса, мл Erythrocyte mass, ml, Me [Q1–Q3]	0.0 [0.0–0.0]	0.0 [0.0–310.0]	330.0 [0.0–695.0]	605.0 [0.0–972.5]	0.009*
Инфузионные растворы, мл Infusion solutions, ml, Me [Q1–Q3]	250.0 [0.0–1500.0]	1050.0 [0.0–1575.0]	2000.0 [1100.0–2750.0]	2000.0 [1500.0–2500.0]	0.010*
Транексамовая кислота / Tranexamic acid, n (%)	1 (16.7)	3 (37.5)	4 (44.4)	9 (45.0)	0.644

* Здесь и далее в таблицах различия статистически значимы.

* From here on in the tables, differences are statistically significant.

ми группами были выявлены по всем ключевым параметрам НПТЭГ.

Уровень общего белка положительно коррелировал с концентрацией фибриногена ($r = 0,49$; $p < 0,001$), максимальной амплитудой НПТЭГ ($r = 0,47$; $p = 0,001$)

и протромбиновым индексом ($r = 0,45$; $p = 0,002$). Наблюдалась отрицательная корреляция общего белка с интенсивностью ретракции и лизиса сгустка ($r = -0,40$; $p = 0,009$) и количеством баллов по шкале ISS ($r = -0,46$; $p = 0,002$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное исследование демонстрирует наличие выраженной взаимосвязи между уровнем общего белка в сыворотке крови и характером коагулопатии у пациентов с ТСТ. Получен-

Таблица 2
Показатели гемостаза в зависимости от белковой недостаточности, Ме [Q1–Q3]
Table 2
Hemostasis indicators depending on protein deficiency, Me [Q1–Q3]

Показатель Value	Группа 1 Group 1 (n = 6)	Группа 2 Group 2 (n = 8)	Группа 3 Group 3 (n = 9)	Группа 4 Group 4 (n = 20)	p
Эритроциты, $10^{12}/л$ / Erythrocytes, $10^{12}/л$	4.0 [3.8–4.1]	3.8 [3.5–4.0]	3.8 [2.9–4.9]	2.7 [2.5–3.2]	< 0.001*
Гемоглобин, г/л Hemoglobin, g/l	127.5 [121.2–132.0]	121.0 [106.7–125.7]	111.0 [91.5–148.5]	88.5 [83.0–98.7]	< 0.001*
Гематокрит, % Hematocrit, %	38.5 [37.2–40.5]	36.4 [33.2–37.7]	35.0 [28.0–45.4]	26.9 [24.0–30.0]	< 0.001*
Тромбоциты, $10^9/л$ Platelets, $10^9/л$	252.0 [129.2–319.0]	240.5 [147.7–308.5]	160.0 [141.0–236.0]	158.5 [76.0–189.0]	0.124
Протромбиновый индекс, % Prothrombin index, %	83.0 [75.8–101.6]	90.6 [76.1–104.8]	64.8 [56.5–80.5]	69.4 [41.0–76.4]	0.010*
Протромбиновое время, сек Prothrombin time, sec	11.7 [10.8–12.2]	11.3 [10.6–12.1]	13.1 [10.8–13.5]	12.3 [10.6–13.0]	0.401
Международное нормализованное отношение International Normalized Ratio	1.0 [0.9–1.1]	1.0 [0.9–1.1]	1.2 [0.9–1.2]	1.1 [0.9–1.2]	0.405
Активированное частичное тромбопластиновое время, сек Activated partial thromboplastin time, sec	28.5 [24.5–32.7]	27.7 [26.4–30.6]	33.3 [24.9–36.7]	29.7 [25.7–37.8]	0.790
Фибриноген, г/л / Fibrinogen, g/l	3.7 [2.8–4.1]	3.4 [2.7–4.1]	2.5 [1.5–3.4]	2.6 [1.0–2.9]	0.009*

Таблица 3
Показатели низкочастотной пьезоэлектрической тромбоэластографии в зависимости от белковой недостаточности
Table 3
Low-frequency piezoelectric thromboelastography indicators depending on protein deficiency

Показатель Value	Группа 1 Group 1 (n = 6)	Группа 2 Group 2 (n = 8)	Группа 3 Group 3 (n = 9)	Группа 4 Group 4 (n = 20)	p
Интенсивность контактной коагуляции Contact coagulation intensity	6.5 [0.0–9.8]	13.5 [9.5–22.8]	6.0 [0.0–11.6]	1.7 [0.0–6.6]	0.008*
Максимальная амплитуда Maximum amplitude	424.0 [378.7–458.2]	373.0 [184.0–439.0]	351.0 [274.5–412.0]	281.5 [192.7–341.5]	0.009*
A1	191.0 [183.5–200.0]	177.0 [158.0–188.0]	189.0 [183.0–200.0]	198.0 [184.2–200.0]	0.077
A3	448.5 [398.7–516.7]	260.0 [192.0–415.0]	418.0 [346.5–485.5]	301.5 [228.2–440.7]	0.045*
A5	611.5 [578.7–643.5]	227.0 [133.0–595.0]	551.0 [468.0–593.0]	297.0 [225.0–525.0]	0.005*
A6	611.0 [571.2–622.7]	238.0 [0.0–594.0]	517.0 [205.5–560.5]	230.5 [158.2–453.7]	0.007*
Интенсивность ретракции и лизиса сгустка Intensity of clot retraction and lysis	1.6 [0.4–4.5]	13.1 [1.1–117.4]	1.0 [0.0–3.8]	25.5 [5.6–87.8]	0.002*
Константа тромбиновой активности Thrombin activity constant	59.6 [29.0–69.2]	4.5 [2.0–37.0]	32.2 [17.8–57.1]	11.8 [4.4–36.7]	0.011*

Примечание: (A1–A5) – амплитуда низкочастотной пьезотромбоэластографии на этапах формирования поперечно-сшитый фибрин, A6 – амплитуда на 10-й минуте лизиса сгустка.

Note: (A1–A5) – amplitude of low-frequency piezothromboelastography at the stages of formation of cross-linked fibrin, A6 – amplitude at the 10th minute of clot lysis.

ные данные позволяют рассматривать гипопроотеинемия не только как маркер тяжести состояния и нутритивного дефицита, но и как значимый предиктор расстройств системы гемостаза.

Ключевым аспектом работы является объективная характеристика с помощью НПТЭГ комплексной гипокоагуляции, ассоциированной с тяжелой гипопроотеинемией. Выявленный спектр нарушений, включающий угнетение контактной активации (снижение ИКК), замедление тромбиновой генерации (снижение КТА), расстройство формирования и конечной прочности фибринового сгустка (снижение МА) на фоне активации фибринолиза (повышение ИРЛС), соответствует наиболее тяжелым формам острой коагулопатии травмы [2, 3].

Классические тесты (АЧТВ, МНО, количество тромбоцитов) не показали значимых межгрупповых различий, в отличие от метода НПТЭГ, который оказался высокочувствительным инструментом для выявления данных комплексных сдвигов. Это полностью согласуется с мнением других авторов о его превосходстве в интегральном мониторинге плазменно-коагуляционного и тромбоцитарного звеньев гемостаза [5, 6].

Клиническая интерпретация динамики амплитуд (А1–А6) свидетельствует о нарушении не только конечной прочности сгустка (МА), но и всей кинетики его формирования. Последовательное снижение амплитуд на всех этапах регистрации в группе с тяжелой гипопроотеинемией отражает нарушение полимеризации фибрина и его поперечной сшивки, что приводит к формированию рыхлого, структурно нестабильного сгустка. Особенно показательным резкое падение амплитуды А6 в сочетании с высоким значением ИРЛС, что объективно подтверждает быстрый лизис изначально функционально неполноценного сгустка.

Полученные данные о положительной корреляции уровня общего белка с концентрацией фибриногена и протромбиновым индексом отражают единый синтетический потенциал печени как центрального органа, одновременно продуцирующего как белки плазмы, так и ключевые факторы свертывания. Однако выявленная взаимосвязь указывает не только на общность происхождения этих показателей, но и на регуляторную перестройку метабо-

лизма печени в ответ на тяжелую травму [10].

В условиях системного воспаления и цитокинового ответа происходит перераспределение белково-синтетических ресурсов печени: снижается продукция структурных и транспортных белков (в частности, альбумина) в пользу приоритетной выработки белков острой фазы (С-реактивного белка, фибриногена) и факторов свертывания. Тем не менее обнаруженная положительная корреляция свидетельствует о том, что сохранный уровень общего белка маркирует достаточный функциональный резерв печени, позволяющий одновременно поддерживать онкотический гомеостаз и гемостатический потенциал плазмы [11, 12].

При крайне тяжелых повреждениях адаптивное перераспределение ресурсов может сменяться глобальным угнетением синтетической функции печени вследствие ее гипоперфузии, травматического шока и метаболического истощения. В подобной ситуации орган теряет способность эффективно синтезировать как альбумин, так и факторы свертывания, что проявляется сочетанным дефицитом обоих пулов белков.

На этом этапе гипопроотеинемия трансформируется из адаптивного метаболического сдвига в самостоятельный патогенетический фактор. Снижение онкотического давления, нарушение транспорта ионов кальция, активация фибринолиза и ухудшение микроциркуляции формируют порочный круг, прогрессивно усугубляющий коагулопатию [13].

Мониторинг уровня общего белка в первые 24 часа после травмы позволяет не только оценить степень метаболического стресса, но и разграничить стадию адаптивного перераспределения ресурсов и фазу глобального угнетения синтеза. Это имеет ключевое значение для прогнозирования риска развития коагулопатии, а также для патогенетического обоснования ранней нутритивной и гемостатической коррекции.

Особого внимания заслуживает тот факт, что признаки выраженной коагулопатии в группе с тяжелой гипопроотеинемией сохранялись, несмотря на выполненную на предыдущем этапе гемостатическую терапию, включавшую введение транексамовой кислоты почти половине пациентов.

Это свидетельствует об устойчивости данного типа нарушений к стандартной коррекции и указывает на то, что одной лишь ингибиции фибринолиза недостаточно для объяснения ее патогенеза. Вероятно, ключевым звеном здесь выступает именно дефицит белково-синтетической функции, что требует изменения терапевтического подхода.

Таким образом, интеграция оценки уровня общего белка в первичный алгоритм обследования пострадавших с ТСТ и применение современных методов анализа гемостаза, таких как НПТЭГ, не только позволяют более точно стратифицировать риски, но и открывают пути для патогенетически обоснованной терапии. Своевременная и адекватная нутритивная поддержка, направленная на коррекцию белково-энергетической недостаточности, может рассматриваться в качестве важного компонента комплексного лечения коагулопатии у данной категории пациентов. Это предположение, однако, требует дальнейшей проверки в рамках проспективных интервенционных исследований.

Ограничения исследования

Ограничения работы включают ее одноцентровый характер и относительно небольшой объем выборки, что сужает возможности широкой экстраполяции выводов. Высокая гетерогенность пациентов с ТСТ, а также различия в объеме медицинской помощи на догоспитальном и раннем госпитальном этапах, которые не представлялось возможным полностью нивелировать, также могли повлиять на результаты. Для подтверждения полученных данных и оценки эффективности нутритивной поддержки в коррекции коагулопатии необходимы дальнейшие многоцентровые рандомизированные контролируемые исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уровень общего белка в сыворотке крови является значимым маркером, отражающим не только нутритивный дефицит, но и тяжесть коагулопатии у пациентов с тяжелой сочетанной травмой.

Тяжелая гипопроотеинемия (общий белок < 50 г/л) ассоциирована с развитием комплексной гипокоагуляции, которая характеризуется статистически значимым угнетением всех фаз

формирования сгустка и активацией фибринолиза, выявляемыми методом НПТЭГ.

Интеграция оценки уровня общего белка в алгоритм первичного обследования пострадавших наряду с применением НПТЭГ для мониторинга гемостаза позволяет более точно stratифицировать риск развития коагуло-

патии и своевременно корректировать лечебную тактику.

Адекватная нутритивная поддержка, направленная на коррекцию белково-энергетической недостаточности, может рассматриваться как важный компонент патогенетической терапии коагулопатии при тяжелой травме, что требует дальнейшего изучения.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Moore EE, Moore HB, Kornblith LZ, Neal MD, Hoffman M, Mutch NJ, et al. Trauma-induced coagulopathy. *Nat Rev Dis Primers*. 2021;7(1):30. DOI: 10.1038/s41572-021-00264-3.
2. James A, Cole E, Dünser M, Bouzat P, Gauss T. Acute traumatic coagulopathy: What you should know, what is debated and what should come next. *Anaesth Crit Care Pain Med*. 2025;44(4):101543. DOI: 10.1016/j.accpm.2025.101543.
3. Capponi A, Rostagno C. Trauma-induced coagulopathy: a review of specific molecular mechanisms. *diagnostics*. 2025;15(11):1435. DOI:10.3390/diagnostics15111435
4. Reed CR, Curry N, Juffermans NP, Neal MD. Hemostatic abnormalities after trauma resuscitation: challenges and strategies in caring for the critically injured patient. *Annals of Intensive Care*. 2025;15(1):163. DOI:10.1186/s13613-025-01587-0.
5. Udut VV, Tyutrin II, Rotlovskaya LY, Solovlev MA, Zhukov EL, Lastovetskiy AG, et al. Technology low-frequency piezoelectric thromboelastography in evaluation of haemostatic potential. *Journal of New Medical Technologies*. 2016;4(4):104–113. Russian (Удут В. В., Тютрин И. И., Котловская Л. Ю., Соловьев М. А., Жуков Е. Л., Ластовецкий А. Г. и др. Технология низкочастотной пьезотромбоэластографии в оценке гемостатического потенциала // Вестник новых медицинских технологий. 2016. № 4 С. 104–113.)
6. Tyutrin II, Udut VV. Low-frequency piezothromboelastography of whole blood: algorithms for diagnosis and correction of hemostasiological disorders. Tomsk, 2016. 170 p. Russian (Тютрин И. И., Удут В. В. Низкочастотная пьезотромбоэластография цельной крови: алгоритмы диагностики и коррекции гемостазиологических расстройств. Томск, 2016. 170 с.)
7. Reigner J, Gaillard-Le Roux B, Dequin PF, Bertoni Maluf VA, Bohe J, Casaer MP, et al. Expert consensusbased clinical practice guidelines for nutritional support in the intensive care unit: the French Intensive Care Society (SRLF) and the French-Speaking Group of Pediatric Emergency Physicians and Intensivists (GFRUP). *Ann Intensive Care*. 2025;15(1):99. DOI: 10.1186/s13613-025-01509-0.
8. Sasaki S, Sakamoto D, Matsuoka Y, Okada K, Sunaga A, Nakatani D, et al. Albumin level and risk of major bleeding in patients with atrial fibrillation on direct oral anticoagulants. *Eur Heart J Cardiovasc Pharmacother*. 2025;11(5):422–432. DOI: 10.1093/ehjcvp/pvaf030.
9. Abedi F, Zarei B, Elyasi S. Albumin: a comprehensive review and practical guideline for clinical use. *European Journal of Clinical Pharmacology*. 2024;80(8):1151–1169. DOI:10.1007/s00228-024-03664-y.
10. Leiderman IN, Gritsan AI, Zabolotskikh IB, Zabolotskikh IB, Lomidze SV, Mazurok VA, et al. Perioperative nutritional support. *Russian Federation of anesthesiologists and reanimatologists guidelines. Alexander Saltanov Intensive Care Herald*. 2018; (3) : 5–21. Russian (Лейдерман И. Н., Грицан А. И., Заболотских И. Б., Ломидзе С. В., Мазурок В. А., и др. Периоперационная нутритивная поддержка. Клинические рекомендации. // Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова. 2018. №3. С.5–21. DOI: 10.21320/1818-474X-2018-3-5-21.)
11. Lisman T, Caldwell SH, Intagliata NM. Haemostatic alterations and management of haemostasis in patients with cirrhosis. *Journal of hepatology*. 2022;76(6):1291–1305. DOI:10.1016/j.jhep.2021.11.004.
12. Ceciliato L, Costa LV, Mello RF, et al. Early changes of plasma albumin and C-reactive protein are associated with 28-day mortality in severe polytrauma patients: a retrospective cohort study. *European journal of trauma and emergency surgery*. 2022;48(6):4903–4911. DOI:10.1007/s00068-022-02011-z.
13. Badem S, Yuksel A, Kilic AO, Pekcolaklar A, Binicier NA, Cetintas D, et al. Plasma calcium level and C-reactive protein albumin ratio affect severe bleeding after coronary artery bypass grafting. *Braz J Cardiovasc Surg*. 2023; 38(4):e20220378. DOI: 10.21470/1678-9741-2022-0378.

Сведения об авторах:

Мухамеджанов Ильдар Рамилевич (автор для переписки) — врач — анестезиолог-реаниматолог, адъюнкт кафедры военной анестезиологии и реаниматологии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6Ж, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044. eLIBRARY.RU SPIN: 9929-5836. <https://orcid.org/0009-0007-4142-3789>. E-mail: ildar08121995@mail.ru

Коробко Юрий Андреевич — врач — анестезиолог-реаниматолог, аспирант кафедры военной анестезиологии и реаниматологии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6Ж, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044. <https://orcid.org/0009-0009-9454-321X>. E-mail: yura.korobko@yandex.ru

Носов Артем Михайлович — к.м.н., начальник научно-исследовательской лаборатории военной хирургии Военно-медицинской

Information about authors:

Mukhamedzhanov Ildar Ramilevich (author for correspondence) — anesthesiologist-resuscitator, adjunct professor of department of military anesthesiology and resuscitation, Kirov Military Medical Academy; Academica Lebedeva St., 6Zh, Saint Petersburg, Russia, 194044. eLIBRARY.RU SPIN: 9929-5836. <https://orcid.org/0009-0007-4142-3789>. E-mail: ildar08121995@mail.ru

Korobko Yuri Andreevich — anesthesiologist-resuscitator, postgraduate of department of military anesthesiology and resuscitation, Kirov Military Medical Academy; Academica Lebedeva St., 6Zh, Saint Petersburg, Russia, 194044. <https://orcid.org/0009-0009-9454-321X>. E-mail: yura.korobko@yandex.ru

Nosov Artyom Mikhailovich — candidate of medical sciences, head of military surgery research laboratory, Academica Lebedeva St., 6Zh,

академии им. С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6Ж, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044. eLIBRARY.RU SPIN: 7386-3225. <https://orcid.org/0000-0001-9977-6543>. E-mail: artem_svu06@mail.ru

Демченко Константин Николаевич — к.м.н., старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории военной хирургии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6Ж, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044. eLIBRARY.RU SPIN: 7549-2959. <https://orcid.org/0000-0001-5437-1163>.

E-mail: phantom964@mail.ru

Струков Егор Юрьевич — д.м.н., доцент кафедры военной анестезиологии и реаниматологии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6Ж, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044. eLIBRARY.RU SPIN: 3949-3704. <https://orcid.org/0000-0001-5041-1201>. E-mail: e.strukov@mail.ru

Тимофеев Кирилл Романович — курсант 5-го курса 3-го факультета Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6Ж, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044.

E-mail: kir2001tim@mail.ru

Егорова Елизавета Николаевна — к.м.н., заведующий биохимической лабораторией центра клинической лабораторной диагностики Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6Ж, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044. eLIBRARY.RU SPIN: 4067-4160. <https://orcid.org/0009-0008-3423-7790>.

E-mail: egorovaelisaveta@mail.ru

Saint Petersburg, Russia, 194044. eLIBRARY.RU SPIN: 7386-3225. <https://orcid.org/0000-0001-9977-6543>. E-mail: artem_svu06@mail.ru

Demchenko Konstantin Nikolaevich — candidate of medical sciences, senior researcher, research laboratory of military surgery, Kirov Military Medical Academy; Academica Lebedeva St., 6Zh, Saint Petersburg, Russia, 194044. eLIBRARY.RU SPIN: 7549-2959.

<https://orcid.org/0000-0001-5437-1163>. E-mail: phantom964@mail.ru

Strukov Yegor Yurievich — MD, PhD, associate professor of department of military anesthesiology and critical care medicine, Kirov Military Medical Academy; Academica Lebedeva St., 6Zh, Saint Petersburg, Russia, 194044. eLIBRARY.RU SPIN: 3949-3704.

<https://orcid.org/0000-0001-5041-1201>. E-mail: e.strukov@mail.ru

Timofeev Kirill Romanovich — 5th year cadet of the 3rd faculty of Kirov Military Medical Academy; Academica Lebedeva St., 6Zh, Saint Petersburg, Russia, 194044. E-mail: kir2001tim@mail.ru

Egorova Yelizaveta Nikolaevna — candidate of medical sciences, head of biochemical laboratory of Clinical Laboratory Diagnostics Center, Kirov Military Medical Academy; Academica Lebedeva St., 6Zh, Saint Petersburg, Russia, 194044. eLIBRARY.RU SPIN: 4067-4160.

<https://orcid.org/0009-0008-3423-7790>.

E-mail: egorovaelisaveta@mail.ru

Статья поступила в редакцию 22.02.2026

Рецензирование пройдено 02.04.2026

Подписано в печать 31.08.2026

Received 22.02.2026

Review completed 02.04.2026

Passed for printing 31.08.2026



СЛУЧАЙ УСПЕШНОГО МНОГОЭТАПНОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТА С ТЯЖЕЛОЙ СОЧЕТАННОЙ ТРАВМОЙ, АССОЦИИРОВАННОЙ С ГЕМОРРАГИЧЕСКИМ ШОКОМ И ГЛУБОКОЙ ГИПОТЕРМИЕЙ

A CASE OF SUCCESSFUL MULTISTAGE TREATMENT OF A PATIENT WITH SEVERE CONCOMITANT INJURY ASSOCIATED WITH HEMORRHAGIC SHOCK AND PROFOUND HYPOTHERMIA

Мурзин Д.А. Murzin D.A.
Игнатович И.М. Ignatovich I.M.
Стец В.В. Stets V.V.
Онницев И.Е. Onnitsev I.E.
Костюченко О.М. Kostyuchenko O.M.
Остряков Н.Г. Ostryakov N.G.

ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко» Минздрава России,
г. Москва, Россия

N.N. Burdenko State Military Clinical Hospital,
Moscow, Russia

Сочетание гипотермии ($< 28^{\circ}\text{C}$), тяжелого ацидоза ($\text{pH} < 7.0$) и коагулопатии, известное как «летальная триада», при политравме ассоциировано с крайне высокой летальностью. Описания успешных исходов без применения экстракорпоральных методов согревания крайне редки.

Цель — представить клиническое наблюдение успешного лечения пациента с геморрагическим шоком, тяжелой сочетанной огнестрельной травмой, осложненной глубокой гипотермией (24.9°C), критическим ацидозом ($\text{pH} 6.87$) и коагулопатией (МНО 2,24), в условиях отсутствия возможности применения экстракорпоральных методов согревания.

Материалы и методы. Представлено единичное клиническое наблюдение пациента 29 лет, который был доставлен в травмоцентр II уровня через 8 часов после огнестрельной травмы в зимний период при температуре окружающей среды -12°C . На догоспитальном этапе была выполнена интубация трахеи, проводилась искусственная вентиляция легких и вазопрессорная поддержка норадреналином. При поступлении отмечались атоническая кома (ШКГ — 3 балла, FOUR — 0 баллов), стойкий двусторонний мидриаз, артериальное давление — $65/37$ мм рт. ст. на фоне введения норадреналина 1.5 мкг/кг/мин, ректальная температура — 24.9°C , pH — 6.87 , BE — -24.6 ммоль/л, МНО — 2,24, АЧТВ — 72,9 с, фибриноген — 1.59 г/л, гемоглобин — 67 г/л. Применена комбинированная стратегия пассивного и активного согревания, комплексное лечение в рамках контроля повреждений. Проведена трансфузия 14 доз эритроцитарной взвеси и 11 доз свежесамороженной плазмы за шесть часов.

Результаты. Достигнуто купирование гипотермии (температура согревания $1.76^{\circ}\text{C}/\text{час}$) и коррекция проявлений «летальной триады». Отмечен регресс стойкого мидриаза с последующим восстановлением фотореакций при достижении температуры тела 29.6°C . Пациент переведен на следующий этап через шесть часов с температурой тела 35.5°C и дозой норадреналина 0.1 мкг/кг/мин. Через три месяца у пациента отмечалось ясное сознание, без неврологического дефицита.

The combination of hypothermia ($< 28^{\circ}\text{C}$), severe acidosis ($\text{pH} < 7.0$), and coagulopathy, known as the "lethal triad," is associated with extremely high mortality in polytrauma. Reports of successful outcomes without the use of extracorporeal rewarming methods are extremely rare.

Objective — to present a clinical observation of successful treatment of a patient with hemorrhagic shock, severe concomitant gunshot injury, complicated by profound hypothermia (24.9°C), critical acidosis ($\text{pH} 6.87$), and coagulopathy (INR 2.24), in conditions where extracorporeal rewarming methods were not possible.

Materials and methods. A single clinical observation of a 29-year-old patient who was admitted to a level II trauma center 8 hours after a gunshot injury in winter at an ambient temperature of -12°C is presented. At the prehospital stage, tracheal intubation was performed, artificial ventilation and vasopressor support with norepinephrine were administered. On admission: atonic coma (GCS — 3 points, FOUR — 0 points), persistent bilateral mydriasis, BP — $65/37$ mmHg against the background of norepinephrine administration of 1.5 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$, rectal temperature — 24.9°C , pH — 6.87 , BE — -24.6 mmol/L, INR — 2.24, APTT — 72.9 sec, fibrinogen — 1.59 g/L, hemoglobin — 67 g/L. A combined passive and active rewarming strategy was used, along with comprehensive damage control treatment. 14 units of red blood cell suspension and 11 units of fresh frozen plasma were transfused over six hours.

Results. Hypothermia was reversed (warming rate — $1.76^{\circ}\text{C}/\text{hour}$) and the "lethal triad" manifestations were corrected. Regression of persistent mydriasis was noted, followed by restoration of photoreactions upon reaching a temperature of 29.6°C . The patient was transferred to the next stage six hours later with a temperature of 35.5°C and a norepinephrine dose of 0.1 mcg/kg/min. Three months later, the patient is conscious and has no neurological deficits.

Для цитирования: Мурзин Д.А., Игнатович И.М., Стец В.В., Онницев И.Е., Костюченко О.М., Остряков Н.Г. СЛУЧАЙ УСПЕШНОГО МНОГОЭТАПНОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТА С ТЯЖЕЛОЙ СОЧЕТАННОЙ ТРАВМОЙ, АССОЦИИРОВАННОЙ С ГЕМОРРАГИЧЕСКИМ ШОКОМ И ГЛУБОКОЙ ГИПОТЕРМИЕЙ // ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2026. № 3. С. 70-76.

Режим доступа: <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/693>

DOI: 10.24412/1819-1495-2026-3-70-76

Заключение. Данное наблюдение демонстрирует возможность успешного разрыва порочного круга «летальной триады» без применения экстракорпоральных методов. Стойкий мидриаз в условиях глубокой гипотермии не является абсолютным предиктором неблагоприятного исхода. Требуется дальнейшее накопление опыта.

Ключевые слова: политравма; гипотермия; ацидоз; коагулопатия; «летальная триада»; контроль повреждений; многоэтапное хирургическое лечение

Conclusion. This clinical case demonstrates the possibility of successfully reversing the "lethal triad" without the use of extracorporeal methods. Persistent mydriasis in the setting of profound hypothermia is not an absolute predictor of an adverse outcome, but further clinical experience is required to draw definitive conclusions.

Keywords: polytrauma; hypothermia; acidosis; coagulopathy; lethal triad; damage control; multi-stage surgical treatment

Контроль температурного гомеостаза — одна из ключевых задач интенсивной терапии у пациентов с тяжелой сочетанной травмой [1]. Несмотря на то, что современные клинические протоколы предусматривают обязательный мониторинг температуры тела и проведение согревающих мероприятий [2, 3], гипотермия нередко остается вне поля зрения клиницистов. В остром периоде внимание медицинского персонала сосредоточено на устранении жизнеугрожающих состояний (асфиксии, острой дыхательной недостаточности, геморрагического шока), в то время как температурный статус пациента зачастую игнорируется. Между тем гипотермия служит независимым предиктором неблагоприятного исхода и высокой потребности в гемотрансфузиях, а также входит в структуру «летальной триады» наряду с ацидозом и коагулопатией [4–7].

Патофизиологическое повреждающее действие гипотермии носит системный характер и включает: угнетение функции тромбоцитов и плазменного звена гемостаза; выраженную вазоконстрикцию с централизацией кровообращения и расстройствами микроциркуляции, усугубляющими ацидоз; снижение сердечного выброса и доставки кислорода; угнетение метаболической активности и теплопродукции; развитие тяжелых аритмий при глубоком охлаждении, а также депрессию сознания [8, 9].

В обычных условиях стойкий двусторонний мидриаз на фоне атонической комы расценивается как признак необратимого повреждения головного мозга. Однако при глубокой гипотермии скорость церебрального метаболизма резко снижается, что обеспечивает нейропротективный эффект и обуславливает потенциальную обратимость данных изменений [10]. Наиболее эффективным методом восстановления температуры тела у пациентов с критической гипотермией признан экстракорпоральный обогрев [11]. Тем не менее в условиях реальной

клинической практики (особенно при реализации тактики многоэтапного хирургического лечения) необходимое специализированное оборудование зачастую недоступно или его применение сопряжено с серьезными организационными трудностями.

Цель настоящей работы — представить клиническое наблюдение успешного лечения пациента с геморрагическим шоком, тяжелой сочетанной огнестрельной травмой, осложненной глубокой гипотермией, критическим ацидозом и коагулопатией, в условиях отсутствия возможности применения экстракорпоральных методов согревания.

От пациента получено информированное согласие на публикацию клинического наблюдения и фотоматериалов.

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

Пациент В., 29 лет, поступил в противошоковую палату травмоцентра II уровня с тяжелой сочетанной огнестрельной травмой живота, таза и конечностей. Время от момента повреждения до госпитализации составило 8 часов; столь длительный догоспитальный этап был обусловлен труднодоступностью района происшествия. Температура окружающей среды в день получения травмы составляла -12°C . В порядке самопомощи пострадавшему на верхнюю треть левого бедра был наложен жгут-турникет с целью остановки продолжающегося кровотечения.

На догоспитальном этапе медицинским персоналом скорой помощи выполнен комплекс лечебных мероприятий по алгоритму ABCDE. В связи с глубоким угнетением сознания осуществлена интубация трахеи с переводом пациента на искусственную вентиляцию легких (ИВЛ). Обеспечен периферический и центральный венозный доступ, проведена внутривенная инфузия кристаллоидных растворов объемом 1000 мл. Введены транексамовая кислота (1000 мг) и цефтриаксон

(1 г), начата вазопрессорная поддержка норадреналином, а также инициированы мероприятия по пассивному согреванию. Пациент доставлен в стационар врачебной выездной бригадой реанимации на санитарном автомобиле.

При поступлении в противошоковую палату состояние пациента оценивалось как крайне тяжелое. Фиксировались признаки атонической комы: 3 балла по шкале ком Глазго (ШКГ) и 0 баллов по шкале FOUR, а также стойкий двусторонний мидриаз (диаметр зрачков — 8 мм, фотореакция отсутствовала). Ректальная температура, измеренная с помощью датчика реанимационного монитора, составила $24,9^{\circ}\text{C}$, что соответствовало глубокой гипотермии. На фоне вазопрессорной поддержки норадреналином в дозе 1,5 мкг/кг/мин гемодинамика оставалась нестабильной: артериальное давление — 65/37 мм рт. ст., частота сердечных сокращений — 58 уд/мин. Пульсоксиметрия была неинформативна — сатурация (SpO_2) не определялась (рис. 1). Также отмечалась олигурия. Примечательно, что несмотря на критический характер гипотермии, по данным ЭКГ-мониторинга не было выявлено удлинения интервала QT и волн Осборна (J-волн). Лабораторные показатели при поступлении представлены в таблице.

На момент поступления длительность нахождения жгута-турникета на конечности составляла 8 часов. Локальный статус левой нижней конечности дистальнее места пережатия: кожные покровы бледные, с выраженным цианозом, холодные на ощупь; пульсация на артериях стопы и в подколенной ямке не определялась. В рамках прикроватного инструментального скрининга выполнен ультразвуковой осмотр по протоколу FAST: свободной жидкости (источников кровотечения) в полостях организма не обнаружено, признаков тампонады сердца и напряженного пневмоторакса не выявлено. Компьютерная томография на этапе первичной стабилизации не выполня-

лась ввиду крайне тяжелого состояния пациента и высокой степени гемодинамической нестабильности (рис. 1).

Инициирован комплекс противошоковых мероприятий. Активирован протокол массивной трансфузии с введением 4 доз эритроцитарной взвеси и 4 доз свежезамороженной плазмы; концентрат тромбоцитов на данном этапе в стационаре отсутствовал. Проведен контроль положения интубационной трубки, оптимизированы параметры ИВЛ со снижением фракции кислорода во вдыхаемой смеси. Дополнительно катетеризована периферическая вена (катетер 14G), повторно введена транексамовая кислота (1 г), осуществлена инфузия 4% раствора гидрокарбоната натрия в объеме 400 мл.

Ввиду отсутствия технической возможности проведения экстракорпорального согревания были развернуты альтернативные доступные методы активного и пассивного обогрева (рис. 2). Температура воздуха в противошоковой палате поддерживалась на уровне 27 °С. Программа термостабилизации включала:

- удаление влажной одежды и повязок с заменой их на сухие, укрывание теплыми одеялами, использование изолирующего головного убора;
- активный конвекционный обогрев специализированным одеялом с термопушкой;
- контактное согревание с помощью термоматраса (до 40 °С) с герметичным укутыванием пациента;

- инфузию предварительно подогретых сред с использованием систем для постоянного обогрева инфузионных линий;

- согревание до 37 °С дыхательной смеси, подаваемой через контур аппарата ИВЛ;

- внутривенное введение теплой воды через зонд в объеме 1000 мл методом медленной регидратации.

Мониторинг температурного статуса осуществлялся непрерывно путем продленной ректальной термометрии с помощью датчика реанимационного монитора.

После первичной стабилизации показателей гемодинамики пациент был транспортирован в операционную. В связи с необратимой критической ишемией левой нижней конечности и

Таблица
Лабораторные данные пациента при поступлении
Table
Patient's laboratory data upon admission

Показатель Index	Значение Value
pH	6.87
Base Excess (BE)	-24.6
Лактат / Lactate	Вне референса определения Out of reference values
pCO ₂ , мм рт. ст. / pCO ₂ , mmHg	48.8
pO ₂ , мм рт. ст. / pO ₂ , mmHg	264
HCO ₃ , ммоль/л / HCO ₃ , mmol/L	8.8
Индекс оксигенации / Oxygenation index	367
Тромбоциты, * 10 ⁹ /л / Platelets, * 10 ⁹ /l	160
Общий билирубин, ммоль/л / Total bilirubin, mmol/l	9.6
Креатинин, ммоль/л / Creatinine, mmol/l	264
Калий, ммоль/л / Potassium, mmol/l	3.2
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	67
Гематокрит / Hematocrit	18.4
Международное нормализованное отношение International Normalized Ratio	2.24
Активированное частичное тромбопластиновое время, сек Activated partial thromboplastin time, sec	72.9
Фибриноген / Fibrinogen	1.59 г/л (g/l)

Рисунок 1

Состояние пациента на момент поступления в противошоковую палату: а) двусторонний стойкий мидриаз (зрачки 8 мм, фотореакции отсутствуют); б) вид левой нижней конечности с установленным турникетом; в) ректальная температура тела 24,9 °С по данным реанимационного монитора

Figure 1

Patient's condition upon admission to the shock ward: a) bilateral persistent mydriasis (pupils 8 mm, no photoreactions); b) left lower extremity with tourniquet in place; c) rectal body temperature 24.9 °C according to the resuscitation monitor.



Рисунок 2

Комплексные мероприятия согревания пациента: а) пациент укутан электрическим термоодеялом; б) предварительное согревание инфузионных растворов; в) проточный обогрев инфузионной линии; д) увлажнение и обогрев воздушно-кислородной дыхательной смеси; е) применение устройств обогрева конвекционного типа; ф) транспортировка пациента в операционную с электрическим термоодеялом

Figure 2
Comprehensive patient warming procedures: a) patient wrapped in an electric thermal blanket; b) pre-warming of infusion solutions; c) flow-through heating of the infusion line; d) humidification and warming of the air-oxygen breathing mixture; e) use of convection-type warming devices; f) patient transport to the operating room with an electric thermal blanket



прямой угрозой жизни пострадавшего выполнена ампутация на уровне верхней трети бедра. В ходе оперативного вмешательства трансфузионная терапия была продолжена: дополнительно введено 4 дозы эритроцитарной взвеси и 4 дозы свежемороженой плазмы. Комплекс мероприятий по обогреву (конвекционный обогрев, термоматрас, инфузия подогретых сред) поддерживался непрерывно на протяжении всей операции (рис. 3).

В раннем послеоперационном периоде зафиксирована отчетливая положительная динамика. При достижении ректальной температуры 29,6 °C отмечено сужение зрачков и появление содружественной фотореакции на свет, что позволило снизить дозу норадреналина до 0,4 мкг/кг/мин. По данным лабораторного контроля верифицирована нормализация кис-

лотно-основного состояния: pH — 7,34; BE — -10,0 ммоль/л; уровень гемоглобина увеличился до 86 г/л. Примечательно, что уровень лактата на данном этапе по-прежнему не определялся тканями из-за сохраняющихся особенностей микроциркуляции. Местный статус: послеоперационная культя левого бедра без признаков активного кровотечения, с умеренным диффузным геморрагическим подтеканием.

После проведения комплекса противошоковых мероприятий, массивных повторных гемотрансфузий и достижения устойчивой стабилизации показателей гемодинамики пациент был переведен на следующий этап оказания медицинской помощи в травмоцентр высшего (I) уровня. На момент транспортировки температура тела составляла 35,5 °C, доза норадреналина была снижена до минимальной —

0,1 мкг/кг/мин (рис. 4). Общая длительность лечения в стационаре II уровня составила 6 часов.

За этот период совокупный объем трансфузии эритроцитсодержащих компонентов крови составил 4450 мл (14 доз), свежемороженой плазмы — 2850 мл (11 доз). За 6 часов интенсивной терапии температуру тела пациента удалось повысить на 10,6 °C, средний темп согревания составил 1,76 °C/ч.

В отдаленном периоде был продолжен мониторинг состояния пациента. Через 3 месяца после травмы пострадавший находится в ясном сознании, полностью обслуживает себя самостоятельно; очагового и грубого общемозгового неврологического дефицита не выявляется. Мышечная сила в сохраненных конечностях удовлетворительная. Настоящее время пациент проходит курс комплексных реабилитационных

мероприятий в специализированном стационаре. Послеоперационная культя левого бедра зажила первичным натяжением, признаков локального воспаления или трофических нарушений нет, в плановом порядке решается вопрос о протезировании (рис. 5).

ОБСУЖДЕНИЕ

Представленное клиническое наблюдение демонстрирует случай выжива-

ния пациента с экстремальными показателями гипотермии ($24,9^{\circ}\text{C}$), ацидоза ($\text{pH} - 6,87$) и коагулопатии ($\text{МНО} - 2,24$) без применения высокотехнологичных экстракорпоральных методов согревания. Общий объем трансфузии за 6 часов интенсивной терапии составил 4450 мл (14 доз) эритроцитосодержащих компонентов и 2850 мл (11 доз) свежзамороженной плазмы. Такой объем соответствует сверхмассивной

кровопотере (более 100 % объема циркулирующей крови) и подтверждает патофизиологическую обоснованность агрессивной волеимической и гемостатической поддержки в рамках протокола массивной трансфузии.

В условиях отсутствия технической возможности проведения экстракорпорального согревания критически важной оказалась комбинированная стратегия пассивного и активного обогрева,

Рисунок 3

Мероприятия обогрева пациента в условиях операционной: а) сужение зрачков, появление фотореакций при температуре тела $29,6^{\circ}\text{C}$; б) конвекционный обогрев и электрическое термоодеяло; в) общий вид пациента в операционной

Figure 3

Patient warming measures in the operating room: a) pupil constriction, appearance of photoreactions at a body temperature of 29.6°C ; b) convection heating and electric heating blanket; c) general appearance of the patient in the operating room

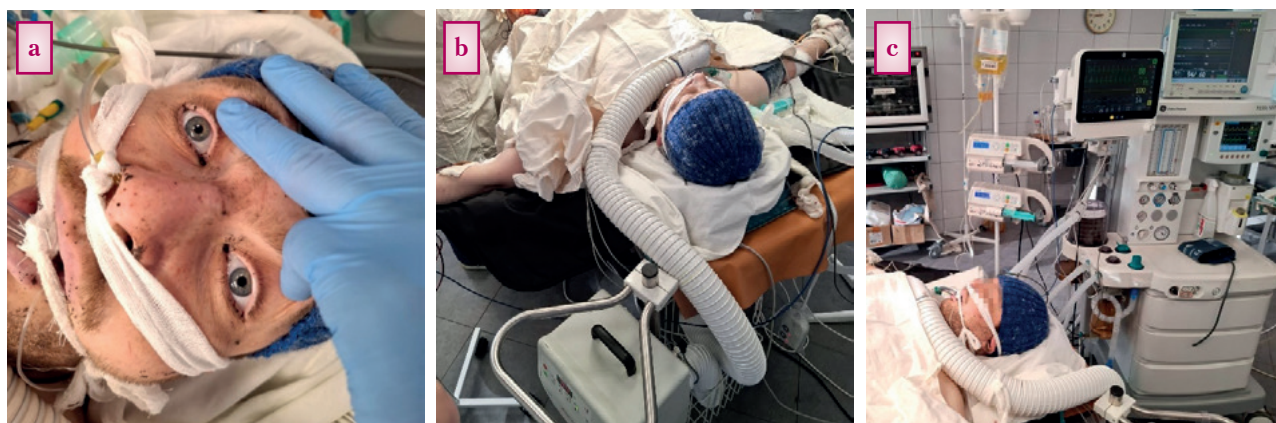
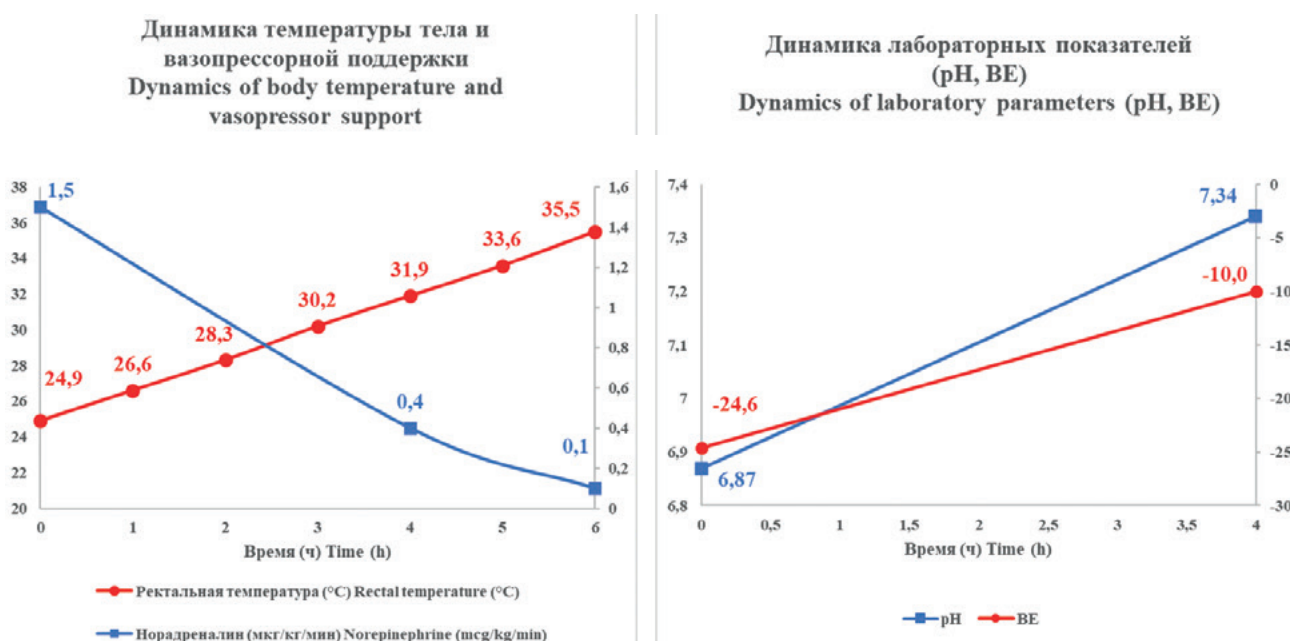


Рисунок 4

Динамика температуры тела, вазопрессорной поддержки и лабораторных показателей в ходе лечения

Dynamics of body temperature, vasopressor support, and laboratory parameters during treatment



реализованная как в противошоковой палате, так и в операционной. Сочетание конвекционного обогрева, использования термоматраса с функцией герметичного укутывания, согревания дыхательной смеси и инфузионных сред, а также внутривенной регидратации теплой водой обеспечило темп согревания 1,76 °C/ч. В комплексе с хирургической тактикой контроля повреждений (damage control) данная схема продемонстрировала высокую эффективность в купировании порочного круга «летальной триады».

По данным крупных ретроспективных исследований, сам факт развития гипотермии при поступлении служит независимым предиктором увеличения потребности в гемотрансфузиях в 2,68 раза и роста летальности в 2,12 раза [7]. Описанный нами случай доказывает, что современная многокомпонентная стратегия непрерывного согревания (на этапах реанимационного зала, транспортировки и оперативного вмешательства) позволяет добиться благоприятного исхода и полного восстановления функций жизнедеятельности даже у пациентов с критической гипотермией без применения методов экстракорпоральной гемокоррекции.

Особого внимания требует оценка неврологического статуса у данной категории пострадавших. В обычных условиях стойкий двусторонний мидриаз на фоне атонической комы (3 балла по ШКГ) расценивается как признак

необратимого повреждения головного мозга. Однако в условиях глубокого охлаждения индуцированное снижение церебрального метаболизма обуславливает потенциальную обратимость подобных изменений [10]. В нашем наблюдении восстановление фотореакции произошло при достижении температуры тела 29,6 °C, а через 3 месяца у пациента полностью отсутствовал какой-либо неврологический дефицит. Данный факт еще раз подтверждает фундаментальное клиническое правило: в условиях критической гипотермии суждение о необратимости повреждения центральной нервной системы и констатация смерти мозга недопустимы до тех пор, пока не будет достигнута нормотермия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благоприятный исход у пациентов с тяжелой сочетанной травмой, осложненной геморрагическим шоком, глубокой гипотермией, критическим ацидозом и коагулопатией — достижимый результат при своевременном и агрессивном лечении в рамках концепции контроля повреждений.

Ключевыми компонентами успеха явились: комбинированное пассивное и активное согревание пациента (температура 1,76 °C/час), а также массивная трансфузия гемокомпонентов.

Стойкий двусторонний мидриаз у пациента с глубокой гипотермией не является абсолютным предиктором

Рисунок 5

Состояние пациента через 3 месяца после травмы

Figure 5

Patient's condition 3 months after injury



фатального неврологического исхода. Восстановление фотореакций произошло при достижении температуры 29,6 °C. Через 3 месяца пациент в сознании, грубого неврологического дефицита нет.

Представленный случай демонстрирует важность активного согревания в отношении пациентов с политравмой и глубокой гипотермией.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Military anesthesiology and resuscitation: national guidelines / edited by A. V. Shchegolev. Moscow: GEOTAR-Media, 2026. 912 p. Russian (Военная анестезиология и реаниматология: национальное руководство / под ред. А. В. Щеголева. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2026. 912 с.)
2. Military field surgery. National guideline. Ed. by IM. Samokhvalov. 2nd ed. Moscow: GEOTAR-Media, 2024. 1056 p. DOI: 10.33029/9704-8036-6-VPX-2024-1-1056. Russian (Военно-полевая хирургия. Национальное руководство / под ред. И. М. Самохвалова. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2024. 1056 с. DOI: 10.33029/9704-8036-6-VPX-2024-1-1056.)
3. American College of Surgeons, Committee on Trauma. Advanced Trauma Life Support (ATLS) Student Course Manual. 10th ed. Chicago: American College of Surgeons, 2018. 391 p.
4. Paal P, Pasquier M, Darocha T, Lechner R, Kosinski S, Wallner B, et al. Accidental hypothermia: 2021 Update. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(1):501. DOI: 10.3390/ijerph19010501.
5. Perlman R, Callum J, Laflamme C, Tien H, Nascimento B, Beckett A, et al. A recommended early goal-directed management guideline for the prevention of hypothermia-related transfusion, morbidity, and mortality in severely injured trauma patients. *Crit Care*. 2016;20(1):107. DOI: 10.1186/s13054-016-1271-z.
6. Schauer SG, April MD, Fisher AD, Weymouth WL, Maddry JK, Gillespie KR, et al. Hypothermia in the combat trauma population. *Prehosp Emerg Care*. 2023;27(7):934-940. DOI: 10.1080/10903127.2022.2119315.
7. Azarkane M, Rijnhout TWH, van Merwijk IAL, Tromp TN, Tan ECTH. Impact of accidental hypothermia in trauma patients: A retrospective cohort study. *Injury*. 2024;55(1):110973. DOI: 10.1016/j.injury.2023.110973.
8. Fisher AD, April MD, Schauer SG. An analysis of the incidence of hypothermia in casualties presenting to emergency departments in Iraq and Afghanistan. *American Journal of Emergency Medicine*. 2020; 38(11):2343-2346. DOI: 10.1016/j.ajem.2019.11.050.
9. Bennett BL, Holcomb JB. Battlefield trauma-induced hypothermia: transitioning the preferred method of casualty rewarming. *Wilderness & Environmental Medicine*. 2017; 28(2S):S82-S89. DOI: 10.1016/j.wem.2017.03.010.
10. Day C, Riou P, Hughes A. Full neurological recovery from profound (18.0°C) acute accidental hypothermia: successful resuscitation using active invasive rewarming techniques. *Emergency Medicine Journal*. 2007; 24(7):511-512. DOI: 10.1136/emj.2006.044909.
11. Rasmussen JM, Cogbill TH, Borgert AJ, Frankki SM, Kallies KJ, Roberts JC, et al. Epidemiology, management, and out-

comes of accidental hypothermia: a multicenter study of regional care. *Am Surg.* 2022; 88(6):1062-1070. DOI: 10.1177/0003134820984869.

12. Jeunesse E, O'Malley P, Petrus N, McCoy C. A rare case of a patient being alert and communicative despite severe hypo-

thermia. *Cureus.* 2024; 16(3):e56293. DOI: 10.7759/cureus.56293.

13. Wallner B, Lienhart H, Cools E, Paal P. Surviving 20 hours of critical avalanche burial and a core temperature of 22.5°C. *Wilderness Environ Med.* 2024;35(1):94-99. DOI: 10.1177/10806032231220403.

Сведения об авторах:

Мурзин Дмитрий Андреевич (автор для переписки) — начальник отделения реанимации и интенсивной терапии ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» Минобороны России; пл. Госпитальная, д.1-3, стр.1, вн.тер.г. муниципальный округ Басманный, г. Москва, Россия, 105094. eLIBRARY.RU SPIN: 2767-3529. <https://orcid.org/0009-0009-5745-1682>. E-mail: dmurzin07@gmail.com

Игнатович Иван Максимович — начальник центра анестезиологии и реанимации филиала № 3 ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» Минобороны России; ул. Адмирала Горшкова, д. 4, мкр. Купавна, г. Балашиха, Россия, 143920.

Стец Валерий Викторович — начальник центра анестезиологии-реанимации, реанимации и интенсивной терапии ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» Минобороны России; пл. Госпитальная, д.1-3, стр.1, вн.тер.г. муниципальный округ Басманный, г. Москва, Россия, 105094. eLIBRARY.RU SPIN: 2016-7051

Онницев Игорь Евгеньевич — д.м.н., профессор, главный хирург ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» Минобороны России; пл. Госпитальная, д.1-3, стр.1, вн.тер.г. муниципальный округ Басманный, г. Москва, Россия, 105094. eLIBRARY.RU SPIN: 9659-4740. <https://orcid.org/0000-0002-3858-2371>

Костюченко Олег Михайлович — к.м.н., доцент, заместитель начальника ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» Минобороны России; пл. Госпитальная, д.1-3, стр.1, вн.тер.г. муниципальный округ Басманный, г. Москва, Россия, 105094. eLIBRARY.RU SPIN: 4524-7218

Остриков Николай Геннадьевич — старший врач — специалист отделения реанимации и интенсивной терапии ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» Минобороны России; пл. Госпитальная, д. 1-3, стр.1, вн.тер.г. муниципальный округ Басманный, г. Москва, Россия, 105094.

Статья поступила в редакцию 09.07.2026

Рецензирование пройдено 24.07.2026

Подписано в печать 31.08.2026

Information about authors:

Murzin Dmitry Andreevich (author for correspondence) — chief of intensive care unit, N.N. Burdenko State Military Clinical Hospital of the Ministry of Defense of Russia; Ploshchad Gospitalnaya, 1-3, building 1, internal territory of the Basmany municipal district, Moscow, Russia, 105094. eLIBRARY.RU SPIN: 2767-3529. <https://orcid.org/0009-0009-5745-1682>. E-mail: dmurzin07@gmail.com

Ignatovich Ivan Maksimovich — chief of center of anesthesiology and resuscitation of the Branch No. 3, N.N. Burdenko State Military Clinical Hospital of the Ministry of Defense of Russia; Admiral Gorshkova St., district 4 Kupavna, Balashikha, Russia, 143920.

Stets Valery Viktorovich — chief of center of anesthesiology-resuscitation, critical care medicine and intensive care, N.N. Burdenko State Military Clinical Hospital of the Ministry of Defense of Russia; Ploshchad Gospitalnaya, 1-3, building 1, internal territory of the Basmany municipal district, Moscow, Russia, 105094. eLIBRARY.RU SPIN: 2016-7051

Onnitsev Igor Evgenievich — MD, PhD, professor, chief surgeon of N.N. Burdenko State Military Clinical Hospital of the Ministry of Defense of Russia; Ploshchad Gospitalnaya, 1-3, building 1, internal territory of the Basmany municipal district, Moscow, Russia, 105094. <https://orcid.org/0000-0002-3858-2371>

Kostyuchenko Oleg Mikhailovich — candidate of medical sciences, associate professor, deputy chief of N.N. Burdenko State Military Clinical Hospital of the Ministry of Defense of Russia; Ploshchad Gospitalnaya, 1-3, building 1, internal territory of the Basmany municipal district, Moscow, Russia, 105094. eLIBRARY.RU SPIN: 4524-7218

Ostryakov Nikolay Gennadievich — senior physician — specialist of intensive care unit, N.N. Burdenko State Military Clinical Hospital of the Ministry of Defense of Russia; Ploshchad Gospitalnaya, 1-3, building 1, internal territory of the Basmany municipal district, Moscow, Russia, 105094.

Received 09.07.2026

Review completed 24.07.2026

Passed for printing 31.08.2026



ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ В ПОДВИЖНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ГРУППЕ АЭРОМОБИЛЬНОГО ОТРЯДА ПРИ СОЧЕТАННОЙ БОЕВОЙ ТРАВМЕ: УШИВАНИЕ РАНЫ ПЕЧЕНИ, ПРОТЕЗИРОВАНИЕ ПЛЕЧЕВОЙ АРТЕРИИ, ЧРЕСКОЖНЫЙ ОСТЕОСИНТЕЗ КОСТЕЙ ПРЕДПЛЕЧЬЯ И КИСТИ

SURGICAL TREATMENT IN THE MOBILE MEDICAL GROUP OF AN AIRMOBILE UNIT FOR COMBINED COMBAT TRAUMA: LIVER WOUND SUTURE, BRACHIAL ARTERY PROSTHETIC REPAIR, AND PERCUTANEOUS OSTEOSYNTHESIS OF FOREARM AND HAND BONES

Казанцев А.Н. Kazantsev A.N.
Фатеев С.С. Fateev S.S.
Бушланов П.С. Bushlanov P.S.
Алексеев О.В. Alekseev O.V.
Эмбрехт Д.Ю. Embrecht D.Yu.

ФГКУ «36 отдельный медицинский отряд (аэромобильный)
воздушно-десантных войск» Минобороны России,
г. Иваново, Россия

36th Independent Medical Detachment (Airmobile) of the
Airborne Forces, Ministry of Defence of the Russian Federation,
Ivanovo, Russia

В структуре боевой хирургической травмы периода специальной военной операции преобладают множественные и сочетанные осколочные ранения, нередко сопровождающиеся одновременным повреждением магистральных сосудов, паренхиматозных органов и костного скелета. Такие поражения характеризуются высокой вероятностью развития критической ишемии конечностей, массивной кровопотери и инфекционных осложнений, что требует от хирурга строгого соблюдения принципов этапного лечения с приоритетом тактики контроля повреждений (damage control surgery).

Цель — представить клиническое наблюдение успешного хирургического лечения пациента с сочетанным осколочным ранением, включающим разрыв плечевой артерии, повреждение печени и огнестрельные переломы костей правой верхней конечности, в условиях подвижной медицинской группы аэромобильного отряда.

Материалы и методы. Военнослужащий 35 лет получил множественные осколочные ранения груди, живота и конечностей в результате взрыва боеприпаса, сброшенного с беспилотного летательного аппарата. При поступлении в подвижную медицинскую группу аэромобильного отряда (через 5,5 часа после ранения) состояние пациента оценивалось как тяжелое. Определялись признаки острой ишемии правой верхней конечности IIБ степени и пульсирующая гематома в средней трети плеча.

По данным рентгенографии выявлены дырчатый перелом наружного мыщелка правой плечевой кости, косой оскольчатый перелом правой

The pattern of combat-related surgical trauma during the special military operation is dominated by multiple and combined shrapnel wounds, frequently accompanied by simultaneous injury to major blood vessels, parenchymal organs, and the skeletal system. Such injuries carry a high risk of critical limb ischemia, massive blood loss, and infectious complications, necessitating strict adherence to the principles of staged treatment with a priority on damage control surgery concept.

Objective — to present a clinical case of successful surgical treatment of a patient with a combined shrapnel injury (involving a brachial artery rupture, liver damage, and gunshot fractures of the right upper limb) performed by a mobile medical team of an air-mobile detachment.

Materials and methods. A 35-year-old serviceman sustained multiple shrapnel wounds to the chest, abdomen, and limbs following the explosion of munitions dropped from an unmanned aerial vehicle. Upon admission to the mobile medical unit of an air-mobile detachment (5.5 hours after the injury), the patient's condition was assessed as severe. Signs of grade IIB acute ischemia of the right upper limb and a pulsating hematoma in the middle third of the arm were observed.

Radiography revealed a comminuted (hole-type) fracture of the lateral condyle of the right humerus, an oblique comminuted fracture of the proximal third of the right ulna, a fracture of the distal metadiaphysis of

Для цитирования: Казанцев А.Н., Фатеев С.С., Бушланов П.С., Алексеев О.В., Эмбрехт Д.Ю. ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ В ПОДВИЖНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ГРУППЕ АЭРОМОБИЛЬНОГО ОТРЯДА ПРИ СОЧЕТАННОЙ БОЕВОЙ ТРАВМЕ: УШИВАНИЕ РАНЫ ПЕЧЕНИ, ПРОТЕЗИРОВАНИЕ ПЛЕЧЕВОЙ АРТЕРИИ, ЧРЕСКОЖНЫЙ ОСТЕОСИНТЕЗ КОСТЕЙ ПРЕДПЛЕЧЬЯ И КИСТИ //ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2026. № 3. С. 77-91.

Режим доступа: <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/707>

DOI: 10.24412/1819-1495-2026-3-77-91

локтевой кости в верхней трети, перелом дистального метадиафиза правой лучевой кости, перелом V пястной кости и проксимальной фаланги III пальца правой кисти. При ультразвуковом ангиосканировании (УЗАС) диагностирован полный разрыв плечевой артерии с диастазом концов до 3 см. Ультразвуковое исследование органов брюшной полости (УЗИ ОБП) выявило контузионное повреждение правой доли печени и гемоперитонеум объемом до 40 мл.

Пациенту выполнены три последовательных вмешательства в рамках единой операции: лапаротомия с ушиванием раны печени; аутовенозное протезирование плечевой артерии реверсированной большой подкожной веной; остеосинтез спицами переломов пястной кости и фаланги, а также монтаж аппарата внешней фиксации на предплечье и кисть.

Результаты. Приоритетным этапом хирургического лечения явилось выполнение лапаротомии для надежного гемостаза в брюшной полости до начала сосудистой реконструкции, что было критически важно в условиях планируемой системной или регионарной гепаринизации. Интраоперационно подтвержден полный разрыв плечевой артерии. После иссечения разможенных и нежизнеспособных краев сосуда диастаз увеличился с 3 до 5 см, что сделало невозможным наложение прямого анастомоза «конец-в-конец» и послужило абсолютным показанием к аутовенозному протезированию. Выбор реверсированной большой подкожной вены в качестве кондуита в условиях первично загрязненной огнестрельной раны был оптимальным решением, позволившим минимизировать риск инфекционных осложнений и последующего тромбоза шунта.

Наличие множественных переломов костей предплечья и кисти потребовало стабильной внешней фиксации. Это обеспечило надежную иммобилизацию и защитило сформированный сосудистый анастомоз от вторичного повреждения или натяжения при смещении костных отломков. В послеоперационном периоде зафиксирован магистральный тип кровотока, пульсация на периферических артериях полностью восстановлена, жизнеспособность конечности сохранена.

Заключение. Данное клиническое наблюдение демонстрирует эффективность хирургической тактики при сочетанной огнестрельной травме в условиях мобильного медицинского этапа. Успех лечения был обеспечен за счет быстрой инструментальной экспресс-диагностики (рентгенография, УЗАС, УЗИ ОБП), строгого соблюдения этапности оперативных вмешательств (лапаротомия → сосудистая реконструкция → внеочаговый остеосинтез), а также выбора аутовенозного протеза для восстановления артериального русла. Описанный подход позволяет эффективно восстановить жизнеспособность ишемизированной конечности и предотвратить развитие фатальных осложнений у раненых с тяжелой сочетанной травмой.

Ключевые слова: осколочное ранение; сочетанная травма; разрыв плечевой артерии; аутовенозное протезирование; повреждение правой доли печени; гемоперитонеум; перелом наружного мыщелка плечевой кости; перелом локтевой кости; перелом лучевой кости; перелом пястной кости; перелом проксимальной фаланги; аппарат внешней фиксации

the right radius, and fractures of the fifth metacarpal and the proximal phalanx of the third digit of the right hand. Ultrasound angioscanning (USAS) diagnosed a complete rupture of the brachial artery with a gap of up to 3 cm between the ends. Abdominal ultrasound revealed a contusion injury to the right lobe of the liver and hemoperitoneum with a volume of up to 40 ml.

The patient underwent three sequential procedures as part of a single operation: laparotomy with repair of a liver laceration; brachial artery reconstruction using a reversed autologous great saphenous vein graft; osteosynthesis of metacarpal and phalangeal fractures using K-wires; application of an external fixation device to the forearm and hand.

Results. A priority step in the surgical treatment was performing a laparotomy to ensure reliable abdominal hemostasis prior to vascular reconstruction; this was critically important given the planned systemic or regional heparinization.

A complete rupture of the brachial artery was confirmed intraoperatively. Following the excision of crushed and non-viable vessel edges, the gap increased from 3 to 5 cm, rendering a direct end-to-end anastomosis impossible and establishing an absolute indication for autovenous grafting. The choice of the reversed great saphenous vein as the conduit (given the initially contaminated gunshot wound) was the optimal solution, minimizing the risk of infectious complications and subsequent graft thrombosis.

The presence of multiple fractures of the forearm and hand bones necessitated stable external fixation. This ensured reliable immobilization and protected the created vascular anastomosis from secondary injury or tension caused by the displacement of bone fragments. In the post-operative period, a major-vessel flow pattern was observed, peripheral arterial pulsation was fully restored, and limb viability was preserved.

Conclusion. This clinical case demonstrates the efficacy of the surgical strategy employed for a combined gunshot injury at a mobile medical facility. Treatment success was achieved through rapid diagnostic imaging (radiography, duplex ultrasonography, and abdominal ultrasound), strict adherence to the staged sequence of surgical interventions (laparotomy → vascular reconstruction → extra-focal osteosynthesis), and the use of an autovenous graft for arterial reconstruction. The described approach effectively restores the viability of an ischemic limb and prevents fatal complications in patients with severe combined trauma.

Keywords: shrapnel wound; polytrauma; brachial artery rupture; autovenous grafting; injury to the right lobe of the liver; hemoperitoneum; fracture of the lateral humeral condyle; ulnar fracture; radial fracture; metacarpal fracture; proximal phalanx fracture; external fixation device

Современные вооруженные конфликты, характеризуются высокой частотой минно-взрывных и осколочных ранений с множественным поражением различных анатомических областей [1, 2]. По данным Д.В. Тришкина (2025), в структуре санитарных потерь преобладают сочетанные и множественные травмы, при этом доля повреждений сосудов неу-

клонно растет [3]. Особую сложность представляют случаи одновременно ранения магистральных артерий и паренхиматозных органов, требующие принятия решений в условиях дефицита времени и ограниченных ресурсов передового госпиталя [4, 5].

Огнестрельные и осколочные повреждения периферических артерий нередко осложняются формированием

пульсирующих гематом, ложных аневризм или артериовенозных фистул [6, 7]. Как показано в работе Р.Р. Тенишева и соавт. (2025), ложные аневризмы при боевой травме возникают в 15–20 % случаев ранений магистральных сосудов, причем на поражение плечевой артерии приходится 22–28 % наблюдений [6]. Острая ишемия конечности IIБ–III степени требует

экстренной реваскуляризации, поскольку без нее риск развития необратимых изменений мышц и нервных стволов возрастает многократно [8, 9].

Проникающие ранения живота с повреждением печени остаются одной из ведущих причин летальности на этапах медицинской эвакуации. Сочетание травмы печени и магистральной артерии конечности создает критическую ситуацию, в которой приоритеты лечения должны быть четко определены в соответствии с концепцией контроля повреждений (damage control) [10, 11].

Диагностика подобных состояний в полевых условиях затруднена из-за недоступности компьютерно-томографической ангиографии (КТ-ангиографии). В этой связи методом выбора становится ультразвуковая доплерография (УЗДГ) сосудов, позволяющая оперативно верифицировать уровень и характер повреждения артериального русла [12, 13].

Выбор метода реконструкции при огнестрельных дефектах артерий остается дискуссионным. При диастазе между концами сосуда более 2–3 см формирование прямого анастомоза «конец-в-конец» становится невозможным, что требует имплантации кондуита. Аутотрансплантация большой подкожной вены (аутовена) служит «золотым стандартом» для реваскуляризации артерий среднего калибра, включая плечевую [13–15]. В то же время протезирование синтетическими материалами в условиях первично загрязненных ран ассоциировано с высоким риском развития инфекционных осложнений [16, 17].

Остеосинтез при огнестрельных переломах костей конечностей на фоне сопутствующей сосудистой реконструкции требует особой тактической осторожности. Принципы этапного хирургического лечения предполагают первичную стабильную фиксацию отломков аппаратами внешней фиксации (АВФ) с последующей отсроченной заменой на погружные конструкции [18, 19]. Такой подход позволяет минимизировать дополнительную травматизацию коллатерального русла и сохранить жизнеспособность сформированного анастомоза.

Настоящая работа представляет клиническое наблюдение успешного хирургического лечения пациента с сочетанным осколочным ранением, вклю-

чающим разрыв плечевой артерии, повреждение печени и огнестрельные переломы костей правой верхней конечности, в условиях подвижной медицинской группы аэромобильного отряда.

От пациента Б. получено добровольное письменное информированное согласие на обработку, использование и публикацию обезличенных медицинских данных, результатов лабораторно-инструментальных методов исследования и интраоперационных фотоматериалов в научных и образовательных целях (включая публикацию в открытой печати). Клиническое исследование и все лечебно-диагностические манипуляции выполнены в строгом соответствии с принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Всемирная медицинская ассамблея, в редакции 2013 г.).

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

Пациент Б., 35 лет, военнослужащий, получил множественные осколочные ранения в ~03:00 в результате сброса боеприпаса с беспилотного летательного аппарата. Первая помощь на поле боя оказана в порядке взаимопомощи: наложены давящие повязки на кровоточащие раны правого плеча и предплечья, выполнена транспортная иммобилизация правой верхней конечности косыночной повязкой.

В 09:40 (спустя 6 часов 40 минут с момента ранения) пострадавший доставлен на этап оказания квалифицированной медицинской помощи — в мобильную медицинскую группу медицинского отряда.

При поступлении состояние пациента тяжелое, сознание ясное (15 баллов по шкале ком Глазго / GCS), контактен, ориентирован в пространстве и времени. При физикальном осмотре предъявлял жалобы на:

- интенсивный болевой синдром в области ран правых верхней и нижней конечностей, резко усиливающийся при минимальных движениях и пальпации (интенсивность по визуально-аналоговой шкале (ВАШ) — 8 баллов);
- общую слабость;
- признаки ишемии правой верхней конечности: выраженное похолодание, парестезии (ощущение онемения, «ползания мурашек») в области правой кисти и пальцев, а также полное отсутствие активных движений в них (плегия).

Объективный статус при поступлении (детализированный)

Общее состояние: тяжелое, обусловлено характером сочетанной травмы, острой кровопотерей и острой ишемией правой верхней конечности IIБ степени.

Сознание: ясное. Психоэмоциональный статус: пациент контактен, ориентирован в пространстве и времени.

Кожные покровы и видимые слизистые: бледные, влажные (холодный липкий пот). Цианоз губ и ногтевых лож отсутствует. Температура тела — 36,6 °C.

Дыхательная система: ЧДД — 20 в минуту. Аускультативно: дыхание везикулярное, проводится в оба легких по всем полям, симметричное, хрипы не выслушиваются. Сатурация (SpO₂) при дыхании атмосферным воздухом — 96 %. Клинических признаков напряженного пневмоторакса или гемоторакса не выявлено.

Сердечно-сосудистая система: АД на левой плечевой артерии — 110/70 мм рт. ст., ЧСС — 98 уд./мин, пульс ритмичный, удовлетворительного наполнения. Тоны сердца приглушены, патологические шумы отсутствуют.

Органы брюшной полости: живот не вздут, симметричен, участвует в акте дыхания. При поверхностной пальпации мягкий, болезненный в правом подреберье и правой поясничной области. Глубокая пальпация ограничена из-за выраженного болевого синдрома. Симптомы раздражения брюшины (в том числе симптом Щёткина — Блюмберга) отрицательные. Аускультативно: перистальтика кишечника живая, активная. Газы отходят.

Мочевыделительная система: мочевой пузырь дренирован уретральным катетером, темп диуреза сохранен (100 мл за 2 часа эвакуации). Моча соломенно-желтого цвета, макрогематурия не определяется.

Локальный статус (по областям)

Грудь: в правой подлопаточной области парамедианно визуализируется слепая рана овальной формы размером 2,0 × 0,8 см. Края раны умеренно отечны, со слабой перифокальной гиперемией (признаки раннего реактивного воспалительного ответа). Отделяемое скудное, геморрагического характера (темно-красная кровь без примеси пузырьков воздуха). Признаки подкожной эмфиземы и флотации грудной стенки

отсутствуют. Пальпация в окружности раны умеренно болезненна.

Живот: в правой поясничной области, латеральнее паравертебральной линии, определяются три слепые раны размерами от 1,5 до 2,0 см. Края ран ровные, умеренно отечны, мацерации кожных покровов нет. Отделяемое геморрагическое, скудное. При глубокой пальпации в проекции ран отмечается локальная болезненность; дефанс (напряжение) мышц поясничной области и передней брюшной стенки не выражен.

Правая верхняя конечность. Плечо: отмечается выраженный отек мягких тканей (окружность правого плеча на 3,0 см больше контрлатерального). В средней трети по медиальной поверхности пальпируется напряженное пульсирующее образование эластической консистенции диаметром около 5,0 см. Кожа над ним цианотична, отмечается локальная гипертермия. При аускультации над образованием выслушивается грубый систолический шум, синхронный с пульсом (клиническая картина формирующейся ложной аневризмы плечевой артерии). Пульсация плечевой артерии проксимальнее образования сохранна, дистальнее — не определяется. Активные движения в плечевом суставе сохранены, но резко ограничены из-за болевого синдрома. Предплечье: в области наружной и задней поверхностей имеются 6 ран (слепых и сквозных) размерами от 1,0 до 4,0 см. Ткани предплечья резко отечны, плотные и ригидные при пальпации (положительный симптом «напряженного футляра», признаки острого субфасциального гипертензионного синдрома). В средней трети предплечья определяется патологическая подвижность и костная крепитация, свидетельствующие об огнестрельном переломе костей предплечья со смещением отломков. Кожные покровы дистальных отделов бледные, холодные на ощупь. Пульсация на лучевой и локтевой артериях не пальпируется. Кисть: на ладонной поверхности в проекции гипотенара имеется слепая рана, на тыльной поверхности — касательное ранение. Кожные покровы бледные, с выраженным мраморным рисунком. Симптом капиллярного пятна (наполнение ногтевого ложа) замедлен до 3–4 секунд на II–V пальцах, на I пальце составляет 2 секунды. Активные движения во II–V пальцах отсутствуют, в I пальце — сохранены, но значительно

ослаблены. Пассивные движения в пальцах сохранены, но вызывают резкую болезненность (признак ишемии мышечной ткани). Выявляется выраженный неврологический дефицит: гипестезия в дистальных отделах по типу «перчатки», нарушение дискриминационной чувствительности (двухточечный тест > 10 мм). Мышечная сила в сгибателях и разгибателях пальцев составляет 0–1 балл по шкале MRC. В проекции V пястной кости пальпируется деформация по типу «ступеньки» (перелом со смещением).

Правая нижняя конечность: на наружной поверхности бедра и передне-латеральной поверхности голени локализуются 5 слепых ран размерами от 1,0 до 3,0 см. Края ран умеренно отечны, отделяемое геморрагическое, не обильное. Пульсация на подколенной артерии, задней большеберцовой артерии и артерии тыла стопы отчетливая, удовлетворительных качеств. Двигательная и чувствительная функции стопы сохранены в полном объеме (рис. 1).

Оценка тяжести состояния по шкалам

Для объективной оценки тяжести сочетанной травмы, определения прогноза и тактики хирургического лечения были использованы специализированные прогностические шкалы (табл. 1).

Рисунок 1

Множественное осколочное ранение правой верхней конечности: 1 — входная рана (сквозное ранение) в верхней трети плеча с продолжающимся артериальным кровотечением; 2 — зона разрыва плечевой артерии; 3 — выходная рана (сквозное ранение)

Figure 1

Multiple shrapnel wounds to the right upper limb: 1 — entry wound (through-and-through injury) in the upper third of the arm with ongoing arterial bleeding; 2 — area of brachial artery rupture; 3 — exit wound (through-and-through injury)



Динамика общего анализа крови

Забор крови для лабораторных исследований производили дважды: при поступлении пациента в операционную (до начала инфузионно-трансфузионной терапии) и непосредственно после завершения всех этапов хирургического вмешательства. Динамика основных лабораторных показателей и их клиническая интерпретация представлены в таблице 2.

При биохимическом исследовании крови, выполненном при поступлении пациента, зафиксированы следующие показатели: уровень глюкозы составил 6,8 ммоль/л, что расценено как проявление умеренной стресс-индуцированной гипергликемии; концентрация креатинина находилась в пределах референсных значений — 78 мкмоль/л; показатели коагулограммы (МНО — 1,1) также соответствовали норме. Отмечено незначительное повышение активности трансаминаз: АЛТ — 48 Ед/л, АСТ — 52 Ед/л, что, с учетом характера травмы, может указывать на начальные маркеры ушиба печени (цитолитический синдром легкой степени).

Рентгенологическое исследование

Органы грудной клетки: легочные поля прозрачны, без очаговых и инфильтративных изменений. Корни легких структурны. Границы сердеч-

Таблица 1
Шкалы стратификации риска и оценки тяжести состояния пациента
Table 1
Risk stratification and patient severity assessment scales

Шкала Score	Значение Value	Интерпретация Interpretation
GCS (Glasgow Coma Scale)	15	Ясное сознание, благоприятный неврологический прогноз Clear consciousness, favorable neurological prognosis.
ISS (Injury Severity Score)	22	Тяжелая политравма (порог > 16 – тяжелая) Severe polytrauma (threshold > 16 – severe)
RTS (Revised Trauma Score)	7,55	Прогнозируемая выживаемость > 95 % Predicted survival > 95%
V-POSSUM (физиологический балл) V-POSSUM (physiological score)	28	Умеренный риск осложнений Moderate risk of complications
V-POSSUM (операционный балл) V-POSSUM (operative score)	14	Объем вмешательства средней тяжести Scope of moderate-severity intervention
V-POSSUM (риск летальности) V-POSSUM (mortality risk)	12%	Умеренный риск Moderate risk
V-POSSUM (риск осложнений) V-POSSUM (risk of complications)	24%	Умеренный риск Moderate risk
MESS (Mangled Extremity Severity Score)	5	Низкий риск ампутации (рекомендовано спасение конечности) Low risk of amputation (limb salvage recommended)
AAST для печени AAST for the liver	I степень	Рана < 2 см, без активного кровотечения Wound < 2 cm, without active bleeding
Rutherford для ишемии конечности Rutherford classification for limb ischemia	26	Угрожающая ишемия (требует экстренной реваскуляризации в течение 6-12 часов) Threatening ischemia (requires urgent revascularization within 6–12 hours)

ной тени не расширены. В мягких тканях правой подлопаточной области визуализируется металлическое инородное тело (осколок неправильной формы размером 4 × 3 мм). Признаков пневмоторакса и гемоторакса не обнаружено. Обзорная рентгенография органов брюшной полости: в проекции правой доли печени (на уровне Th₁₁–Th₁₂) определяются два металлических осколка размером 6 × 4 мм. Свободный газ под куполами диафрагмы не визуализируется. Рентгенологических признаков непроходимости кишечника (чаш Клойбера) не выявлено.

Правое плечо: определяется дырчатый перелом наружного мыщелка правой плечевой кости с наличием внутрикостного мелкого металлического осколка (2 × 2 мм). Суставная щель локтевого сустава сохранена, контуры ее четкие. Отмечается выраженный отек мягких тканей (рис. 2).

Правое предплечье: визуализируется косой оскольчатый перелом локтевой кости в верхней трети без значимого смещения отломков (линия перелома имеет косой ход, определяется один промежуточный осколок). Выявлен перелом дистального метадиафиза лучевой кости со смещением отломков по

ширине на 1/3 диаметра кости. В мягких тканях предплечья определяются множественные металлические осколки (рис. 3).

Правая кисть: выявляется перелом диафиза V пястной кости со смещением отломков по длине и под углом 10°.

Также определяется перелом проксимальной фаланги III пальца со смещением по ширине на 1/2 диаметра кости.

Правое бедро и голень: в мягких тканях визуализируются множественные металлические инородные тела (до 10 единиц) без признаков поврежде-

Рисунок 2

Рентгенография груди, живота, правого плеча: 1 — инородные тела (металлические осколки) в проекции печени; 2 — инородное тело (металлический осколок) в мягких тканях правой подлопаточной области; 3 — дырчатый перелом наружного мыщелка правой плечевой кости. Внутрикостно — мелкий металлический осколок

Figure 2

X-ray of the chest, abdomen, and right shoulder: 1 — foreign bodies (metallic fragments) in the projection of the liver; 2 — foreign body (metallic fragment) in the soft tissues of the right infrascapular region; 3 — perforated fracture of the lateral condyle of the right humerus. Intrassosseous — a small metallic fragment

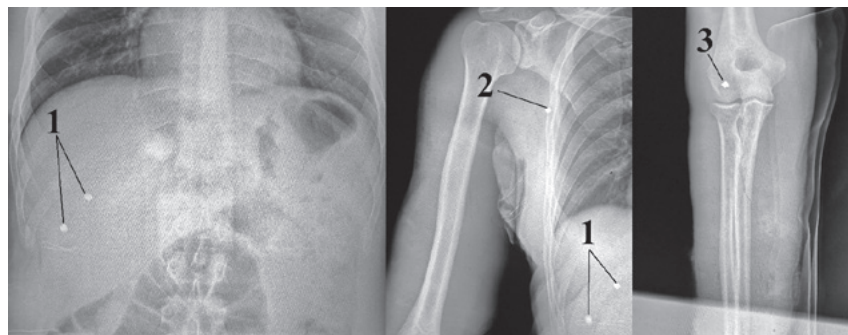


Таблица 2
Динамика общего анализа крови
Table 2
Dynamics of Complete Blood Count

Показатель Value	До операции Before surgery	После операции After surgery	Референсный интервал Reference interval	Клиническая интерпретация Clinical interpretation
Лейкоциты, $\times 10^9/\text{л}$ Leukocytes, $\times 10^9/\text{L}$	14.69 $\uparrow$	16.6 $\uparrow$	4.0–9.0	Посттравматический реактивный лейкоцитоз (стресс-ответ, высвобождение из депо) Post-traumatic reactive leukocytosis (stress response, release from storage pools)
Гранулоциты, $\times 10^9/\text{л}$ Granulocytes, $\times 10^9/\text{L}$	13.57 $\uparrow$	14.47 $\uparrow$	2.0–7.0	Нейтрофильный сдвиг (без токсической зернистости – признак несептического генеза) Neutrophil shift (without toxic granulation – a sign of non-septic origin)
Лимфоциты, $\times 10^9/\text{л}$ Lymphocytes, $\times 10^9/\text{L}$	1.12 $\downarrow$	2.13	1.2–3.0	Транзиторная лимфопения (стресс-индуцированная) Transient lymphopenia (stress-induced)
Эритроциты, $\times 10^{12}/\text{л}$ Erythrocytes, $\times 10^{12}/\text{L}$	3.29 $\downarrow$	2.76 $\downarrow$	4.0–5.0	Постгеморрагическая анемия + гемодилюция Post-hemorrhagic anemia + hemodilution
Гемоглобин, г/л Hemoglobin, g/L	103 $\downarrow$	87 $\downarrow$	130–160	Анемия легкой $\rightarrow$ средней степени тяжести Mild to moderate anemia
Гематокрит, % Hematocrit, %	23.3 $\downarrow$	19.49 $\downarrow$	40–48	Снижение (ориентировочная кровопотеря 800–1000 мл с учётом инфузии) Decrease (estimated blood loss 800–1000 ml, accounting for infusion)
Тромбоциты, $\times 10^9/\text{л}$ Platelets, $\times 10^9/\text{L}$	147 $\downarrow$	192	180–320	Исходная тромбоцитопения (потребление в зоне повреждения), затем компенсаторный подъем Initial thrombocytopenia (consumption at the site of injury), followed by a compensatory rise.
Скорость оседания эритроцитов, мм/ч Erythrocyte sedimentation rate, mm/h	28 $\uparrow$	32 $\uparrow$	2–15	Ускоренная (воспалительный ответ на травму) Accelerated (inflammatory response to injury)

ния костных структур. Рентгенологических признаков переломов бедренной, большеберцовой и малоберцовой костей не обнаружено.

Ультразвуковое исследование органов брюшной полости

Методика исследования: полипозиционное сканирование конвексным датчиком частотой 3,5–5 МГц.

Печень: размеры не увеличены: вертикальный размер правой доли — 14,2 см (норма — до 15,0 см), толщина левой доли — 6,5 см. Контуры органа ровные, четкие. Эхогенность паренхимы умеренно диффузно повышена (неспецифические реактивные изменения). В S₅ (V сегменте) определяются два гиперэхогенных включения с четкой акустической тенью (металлические осколки) размерами 6 $\times$ 4 мм. В проекции S₆ (VI сегмента) по латеральной поверхности визуализируется

ся гипозоногенная зона овальной формы размерами 8 $\times$ 5 мм с неровными, нечеткими контурами (зона контузионного повреждения/внутрипеченочной гематомы). В режиме цветового доплеровского картирования (ЦДК) данная область аваскулярна. В подкапсульном пространстве (между диафрагмой и печенью) определяется полоса свободной жидкости толщиной 2–3 мм (субкапсулярная гематома / геморрагический выпот).

Свободная жидкость в брюшной полости: в правом поддиафрагмальном пространстве лоцируется анэхогенное содержимое с мелкодисперсной взвесью объемом около 10–15 мл (ультразвуковые признаки гемоперитонеума малого объема). В позапидулярном пространстве малого таза определяется аналогичная жидкость объемом около 20 мл. В левом латеральном канале свободная жидкость не визуализируется.

Ультразвуковое ангиосканирование артерий правой верхней конечности

Методика исследования: сканирование линейным датчиком частотой 7–12 МГц в В-режиме, с применением ЦДК и импульсно-волновой доплерографии (ИВД).

Плечевая артерия: в проксимальной и средней третях (выше зоны повреждения) диаметр сосуда составляет 4,2 мм, стенки ровные. Регистрируется магистральный тип кровотока: пиковая систолическая скорость (PSV) — 98 см/с, индекс резистентности (RI) — 0,78. В нижней трети плеча (на 7,0 см выше локтевого сгиба) визуализируется полный поперечный разрыв артерии с диастазом между проксимальной и дистальной культями до 3,0 см. В зоне дефекта лоцируется пульсирующая гематома объемом около 10 мл; в режиме ЦДК в ней регистрируется

выраженный турбулентный кровоток с формированием патогномичного двухцветного симптома «инь-ян» (yin-yang sign). Просвет дистальной культы артерии (на 4,0 см проксимальнее локтевого сгиба) спавшийся, определяется ретроградный монофазный кровоток коллатерального типа со снижением скоростных характеристик (PSV — 22 см/с).

Лучевая и локтевая артерии: просветы сосудов спавшиеся, отчетливо не дифференцируются. Магистральный кровоток не регистрируется. Спот-измерениями определяются низкоамплитудные коллатеральные сигналы (PSV — 10–15 см/с) с высоким периферическим сопротивлением (RI — 0,89), что свидетельствует о глубокой декомпенсированной ишемии предплечья и кисти (рис. 4).

Коллатеральное русло: в области локтевого сустава визуализируется сеть гиперэхогенных извитых артериальных анастомозов диаметром 0,5–0,8 мм с признаками выраженного коллатерального перераспределения кровотока.

Предоперационный консилиум и тактическое решение

Коллегиальным решением мультидисциплинарной бригады в составе военно-полевого (общего) хирурга, сердечно-сосудистого хирурга, травматолога-ортопеда и анестезиолога-реаниматолога определена тактика этапного хирургического лечения.

С учетом сочетания закрытой травмы печени, осложненной продолжающимся внутрибрюшным кровотечением (гемоперитонеум), и декомпенсированной острой ишемии правой верхней конечности на фоне огнестрельного дефекта артерии и многооскольчатых переломов очередность этапов операции была строго регламентирована. Ввиду высокого риска манифестации профузного абдоминального кровотечения при обязательной системной гепаринизации во время сосудистого этапа, первым приоритетом была определена экстренная лапаротомия для достижения надежного гемостаза в брюшной полости.

Этап I. Экстренная лапаротомия, ревизия, гемостаз, санация и дренирование брюшной полости

Продолжительность этапа: 10:10–11:30 (1 час 20 минут).

Рисунок 3

Рентгенография правых предплечья и кисти: 1 — косою оскольчатый перелом локтевой кости в верхней трети без смещения отломков (линия перелома идет косо, один промежуточный осколок); 2 — перелом дистального метадиафиза лучевой кости со смещением по ширине (на 1/3 диаметра); 3 — перелом V пястной кости в диафизе со смещением отломков по длине и угловым смещением (10°); 4 — перелом проксимальной фаланги III пальца со смещением (1/2 ширины)

Figure 3

X-ray of the right forearm and right hand: 1 — oblique comminuted fracture of the ulna in the upper third without displacement of fragments (the fracture line runs obliquely, one intermediate fragment); 2 — fracture of the distal metadiaphysis of the radius with transverse displacement (by 1/3 of the diameter); 3 — fracture of the fifth metacarpal bone at the diaphysis with displacement of fragments along the length and angular displacement (10°); 4 — fracture of the proximal phalanx of the third finger with displacement (by 1/2 of the width)

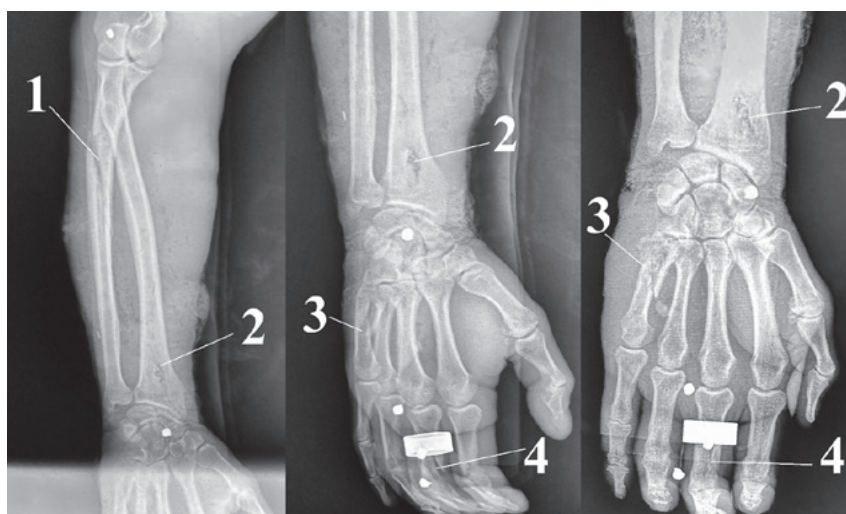
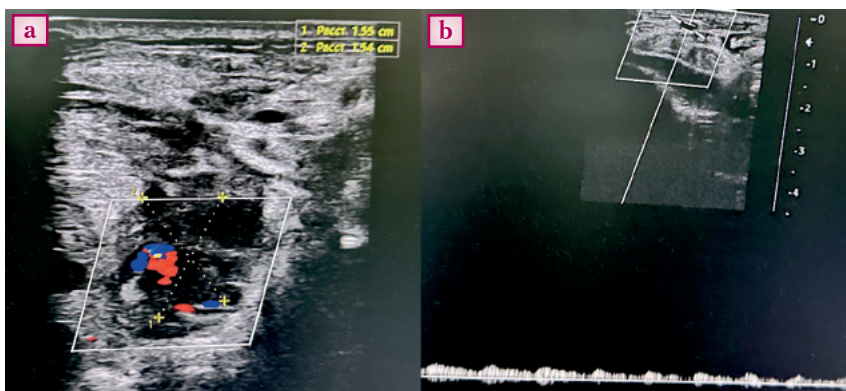


Рисунок 4

Ультразвуковое ангиосканирование артерий правой верхней конечности: а) полный поперечный разрыв плечевой артерии с формированием пульсирующей гематомы в нижней трети плеча (на 4 см выше локтевого сгиба); б) низкоамплитудный коллатеральный сигнал на лучевой артерии в проекции запястья

Figure 4

Ultrasound angiographic scanning of the arteries of the right upper limb: a) in the lower third of the arm (4 cm above the antecubital fossa), complete transverse rupture of the brachial artery with formation of a pulsating hematoma; b) low-amplitude collateral signal on the radial artery in the projection of the wrist



Анестезиологическое обеспечение: общий эндотрахеальный наркоз (индукция и поддержание анестезии: севофлуран, фентанил, рокурония бромид).

Укладка пациента: на спине, правая верхняя конечность отведена на операционном столе под углом 90° на специальной подставке.

Ход вмешательства. Выполнена верхняя срединная лапаротомия. При вскрытии брюшной полости эвакуировано около 30–40 мл темно-красной крови со сгустками (гемоперитонеум малого объема); основная масса крови локализовалась в правом поддиафрагмальном пространстве и малом тазу. Произведена санация брюшной полости теплым физиологическим раствором с последующей аспирацией. При последовательной ревизии органов брюшной полости по часовой стрелке повреждений желудка, селезенки, левой почки, петель тонкой и толстой кишки, а также желчного пузыря не обнаружено (органы интактны).

После мобилизации правой доли печени путем пересечения правой треугольной связки на диафрагмальной поверхности в проекции S₆ (VI сегмента) визуализирована линейная рана длиной 0,5 см и глубиной 0,3 см с незначительным капиллярным кровотечением. Выполнена монополярная электрокоагуляция краев раны (в режиме 40 Вт), после чего наложены два узловых шва (синтетический рассасывающийся материал на основе полиглактина 910, 3/0).

С целью верификации локализации инородных тел выполнена интраоперационная рентгеноскопия с использованием С-дуги. Выявлено, что металлические осколки размером 6 × 4 мм локализованы в толще паренхимы S₅ (V сегмента) печени на глубине 3,0 см от капсулы. Ввиду отсутствия признаков активного смещения осколков и высокого риска дополнительной травматизации паренхимы при их поиске принято решение воздержаться от их удаления.

Для достижения окончательного локального гемостаза на зону ушитой раны печени уложена пластина гемостатического материала на основе окисленной регенерированной целлюлозы. При контрольном осмотре кровотечения не возобновлялось. Через отдельный прокол кожных покровов в правой подвздошной области в полость малого таза установлен силиконовый

дренаж диаметром 20 Fr, который фиксирован к коже узловым швом. Брюшная полость ушита послойно: брюшина — непрерывным швом (полиглактин 910, 1), апоневроз — узловыми швами (монофиламентный полипропилен, 1), на кожу наложены металлические скобки.

Объем интраоперационной кровопотери на данном этапе: до 10 мл.

Инфузионная терапия: сбалансированные кристаллоидные растворы (раствор Рингера) — 1000 мл.

Этап II. Первичная хирургическая обработка ран правого плеча и предплечья. Аутовенозное протезирование правой плечевой артерии реверсированной аутовеной

Продолжительность этапа: 11:30–13:00 (1 час 30 минут).

Анестезиологическое обеспечение: продолжена общая эндотрахеальная анестезия.

Укладка пациента: на спине, правая верхняя конечность расположена на отводной подставке, левая нижняя конечность умеренно ротирована кнаружи для обеспечения доступа к донорской зоне (большой подкожной вене).

Ход вмешательства. Выполнена первичная хирургическая обработка (ПХО) ран правого плеча и предплечья. Произведено экономное иссечение нежизнеспособных краев кожных ран (в пределах 0,3–0,5 см), удалены мелкие доступные металлические осколки (извлечено 4 инородных тела размерами 1–2 мм). Раны последовательно обработаны 3% раствором перекиси водорода и антисептическим раствором повидон-йода.

Для выполнения сосудистого этапа осуществлен продольный доступ по медиальной поверхности правого плеча. Проксимальнее зоны пульсирующего образования на 4,0 см выделена неизменная плечевая артерия, пульсация на ней удовлетворительная. С целью профилактики интраоперационного тромбообразования внутривенно струйно введено 5000 ЕД нефракционированного гепарина, после чего плечевая артерия взята на держалки и пережата.

Раневой канал продлен в дистальном направлении до уровня нижней трети плеча. Произведено вскрытие полости пульсирующей гематомы по передней стенке, эвакуировано 10 мл жидкой крови и 5 мл рыхлых тромботических

масс. При ревизии визуализированы дефекты сосуда: проксимальная культя артерии жизнеспособна, интенсивно пульсирует; дистальная культя спаившаяся, с умеренным ретроградным кровотоком темно-красной кровью (рис. 5a). Конец артерии взят на сосудистые зажимы. Выполнена резекция краев поврежденного сосуда в пределах макроскопически неизмененных тканей (с иссечением зон отслойки адвентиции и разрывов интимы): резецировано по 1,0 см проксимального и дистального концов артерии. После дебридмента истинный диастаз между культями составил 5,0 см (рис. 5b).

Параллельно в левой паховой области выполнен продольный разрез длиной 6,0 см. Из выделенного ствола большой подкожной вены (БПВ) на протяжении 6,0 см после лигирования притоков резецирован фрагмент длиной 5,0 см (наружный диаметр вены — 4,0 мм). Сформированный трансплантат промыт и гидродинамически тестирован гепаринизированным физиологическим раствором (1000 ЕД гепарина на 50 мл 0,9% раствора хлорида натрия). Рана донорской зоны на левом бедре ушита послойно наглухо.

Реконструкция плечевой артерии выполнена по методике аутовенозного протезирования реверсированной БПВ. Проксимальный анастомоз сформирован по типу «конец-в-конец» непрерывным обвивным швом монофиламентной полипропиленовой нитью 6/0. После промывания протеза гепаринизированным раствором аналогичным швом (нить 6/0) наложен дистальный анастомоз. Антеградный кровоток восстановлен по стандартной методике: первоначально снят дистальный зажим для вытеснения воздуха и возможных микроэмболов через швы анастомоза, затем открыт проксимальный зажим (рис. 5c). Отмечена отчетливая пульсация аутовенозного трансплантата на всем протяжении, синхронная с пульсом пациента. Пальпаторно зафиксировано появление удовлетворительной пульсации на лучевой и локтевой артериях в дистальных отделах.

По данным интраоперационного ультразвукового ангиосканирования (УЗАС): в плечевой артерии регистрируется магистральный тип кровотока, PSV — 85 см/с. Аутовенозный протез полностью проходим, признаков гемодинамически значимых стенозов и деформаций нет, кровоток ламинарный.

Отмечено восстановление магистрального кровотока в дистальном русле: в лучевой артерии PSV составила 48 см/с, в локтевой артерии — 42 см/с.

В ложе сосудистой реконструкции установлен активный силиконовый дренаж диаметром 10 Fr. Рана ушита послойно: подкожная жировая клетчатка — рассасывающимися швами (полиглактин 910, 3/0), на кожу наложены узловы́е швы.

Объем интраоперационной кровопотери на данном этапе: около 100 мл.

Этап III. Закрытая репозиция, чрескожный остеосинтез переломов V пястной кости и проксимальной фаланги III пальца правой кисти спицами. Внешняя фиксация правого предплечья и кисти стержневым аппаратом из комплекта стержневого военно-полевого

Продолжительность этапа: 13:00–14:20 (1 час 20 минут).

Анестезиологическое обеспечение: продолжена общая эндотрахеальная анестезия.

Укладка пациента: на спине, правая верхняя конечность расположена на отдельном приставном операционном столе (обработана и отграничена отдельная хирургическая зона предплечья и кисти).

Ход вмешательства. На первом подэтапе осуществлен остеосинтез V пястной кости. Из мини-доступа по тыльной поверхности кисти длиной 1,5 см выполнена открытая репозиция костных отломков с устранением угловой деформации (10°). Достигнутое положение верифицировано и стабилизировано перекрестным введением двух спиц Киршнера диаметром 1,2 мм через проксимальный и дистальный фрагменты. Концы спиц скусены и оставлены над поверхностью кожи.

Далее выполнен остеосинтез проксимальной фаланги III пальца кисти. Из продольного тыльного доступа длиной 1,0 см произведена репозиция отломков с устранением смещения по ширине. Стабилизация перелома осуществлена путем интрамедуллярного введения трех спиц диаметром 1,0 мм в продольном направлении. При контрольной рентгеноскопии с помощью С-дуги подтверждена анатомичная репозиция отломков (рис. 6b).

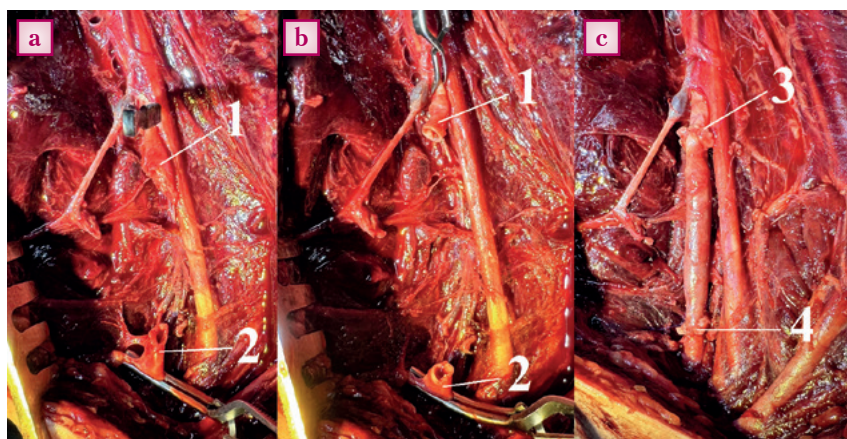
На втором подэтапе осуществлен монтаж мостовидного АВФ с использованием элементов комплекта стержне-

Рисунок 5

Выделение плечевой артерии в месте разрыва (а) с последующей резекцией разможенных концов культей артерии (b) и аутовенозным протезированием реверсированной большой подкожной веной (c): 1 — проксимальная культя; 2 — дистальная культя; 3 — проксимальный анастомоз «конец-в-конец»; 4 — дистальный анастомоз «конец-в-конец»

Figure 5

Isolation of the brachial artery at the rupture site (a), followed by resection of the crushed ends of the arterial stumps (b), and autovenous grafting using a reversed great saphenous vein (c): 1 — proximal stump; 2 — distal stump; 3 — proximal end-to-end anastomosis; 4 — distal end-to-end anastomosis



вого военно-полевого. В соответствии с топографо-анатомическими ориентирами последовательно введены 6 стержней Шанца: два стержня длиной 175 мм — в проксимальный метадиафиз локтевой кости; два стержня длиной 175 мм — в дистальный метадиафиз локтевой кости; один стержень длиной 200 мм — в нижнюю треть диафиза лучевой кости; один стержень длиной 150 мм — в диафиз I пястной кости. Формирование каналов выполняли с помощью С-дуги, предварительного рассверливания сверлом диаметром 3,5 мм через защитные втулки-проводники и ручного введения стержней троакаром для контроля глубины погружения. Стержни Шанца объединены в единую жесткую систему с помощью четырех несущих штанг-трубок (длиной 300 мм — 1 шт., 250 мм — 1 шт., 200 мм — 2 шт.) и десяти универсальных шарнирных зажимов. После ручной репозиции костей предплечья и кисти в аппарате зафиксировано функционально выгодное (среднефизиологическое) положение конечности: ладонное сгибание в лучезапястном суставе под углом 15° и отведение I пальца под углом 30° , после чего произведена окончательная жесткая фиксация узлов крепления (рис. 6a).

При финальном интраоперационном рентгеноконтроле (С-дуга) во всех стандартных проекциях положение элементов фиксации (спиц и стержней) правильное, репозиция переломов удовлетворительная, признаков вторичного смещения фрагментов костей нет.

На заключительном этапе выполнена повторная антисептическая обработка ран кисти и предплечья, из раны III пальца извлечены два мелких доступных металлических осколка. Все раневые поверхности, включая зоны входа чрескожных стержней и спиц, обработаны раствором повидон-йода, укрыты асептическими повязками с гидрофильной мазью (хлорамфеникол + диоксометилтетрагидропиридин).

Объем интраоперационной кровопотери на данном этапе: до 50 мл (капиллярное кровотечение).

Послеоперационный период и медицинская эвакуация

По окончании всех хирургических вмешательств пациент в стабильном состоянии был транспортирован в палату интенсивной терапии мобильной медицинской группы. В 16:00, после полного восстановления мышечного тонуса и адекватного самостоятельно-

го дыхания, произведена экстубация трахеи. Показатели системной гемодинамики оставались стабильными: АД — 120/70 мм рт. ст., ЧСС — 88 уд./мин, сатурация (SpO₂) при дыхании атмосферным воздухом — 97%.

При оценке локального сосудистого статуса правой верхней конечности зафиксирована отчетливая пульсация на лучевой и локтевой артериях. Отмечены выраженные признаки реваскуляризации конечности: кожные покровы правой кисти стали теплыми на ощупь, уменьшилась интенсивность бледности и мраморного рисунка. В неврологическом статусе зарегистрировано частичное восстановление тактильной и болевой чувствительности в дистальных фалангах пальцев, уменьшилась интенсивность парестезий.

В 17:30 пострадавший в стабильном состоянии эвакуирован санитарным авиационным (или специализированным автомобильным) транспортом в многопрофильный госпиталь тыла (III уровень оказания медицинской помощи) для проведения дальнейшего этапного лечения, реабилитации и выполнения плановых отсроченных реконструктивных вмешательств.

По данным анамнеза, полученным из тылового медицинского учреждения через 6 месяцев, общее состояние пациента удовлетворительное. Перфузия правой верхней конечности адекватная, пульсация на лучевой и локтевой артериях сохранена в полном объеме. Стабильная проходимость сформированного аутовенозного протеза плечевой артерии подтверждена данными контрольного УЗАС: просвет трансплантата полностью свободен, признаков тромбоза, гемодинамически значимого стеноза или аневризматической трансформации не выявлено. Наступила полная консолидация переломов костей предплечья и кисти в анатомически правильном положении; АВФ демонтирован, трансоссальные спицы удалены. Пациент проходит курс комплексной двигательной реабилитации, активно разрабатывает суставы правой кисти. Функциональный результат восстановления верхней конечности расценен как хороший.

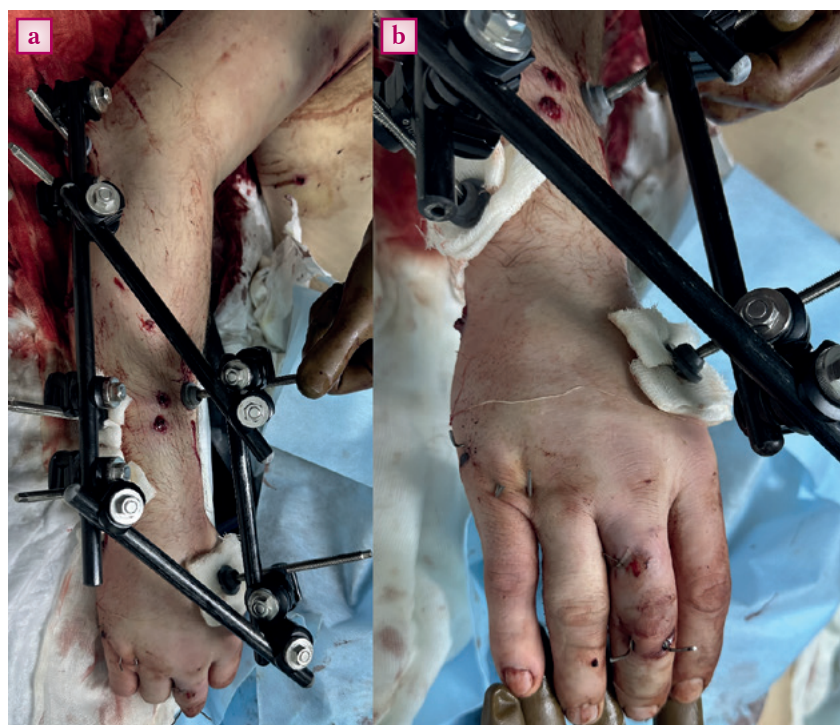
Таким образом, благоприятный отдаленный исход лечения подтверждает высокую эффективность и патогенетическую обоснованность выбранной в мобильной медицинской груп-

Рисунок 6

Наложение комплекта стержневого военно-полевого на правое предплечье-кисть (а) и остеосинтез спицами переломов V пястной кости, проксимальной фаланги III пальца правой кисти (b)

Figure 6

Application of a set of rod-type military field external fixator to the right forearm and hand (a), and pin osteosynthesis of fractures of the V metacarpal bone and the proximal phalanx of the III finger of the right hand (b)



пе двухэтапной тактики программируемого хирургического лечения (damage control).

ОБСУЖДЕНИЕ

Патофизиология огнестрельного разрыва артерии

Высокоэнергетическое воздействие осколочных элементов (со скоростью 600–1000 м/с) приводит к повреждению сосудистой стенки не только по механизму прямого механического разрыва с отслойкой адвентиции и интимы, но и за счет формирования обширной зоны контузионного поражения (молекулярного сотрясения) на значительном протяжении [20]. Как показано в морфологическом исследовании Ю.В. Захарова и соавт. (2025), в тканях, прилежащих к раневому каналу, развиваются очаги некроза, массивных кровоизлияний и выраженного отека, распространяющиеся на 1,5–2,0 см проксимальнее и дистальнее видимых границ дефекта [20]. Данный патоморфологический феномен обуславливает необходимость радикальной резекции визу-

ально неизмененных концов артерии до макроскопически интактных слоев интимы и адвентиции с целью профилактики последующего тромбоза анастомоза. В описанном клиническом наблюдении первичный диастаз между культями, составлявший 3,0 см, после хирургического дебридмента и иссечения нежизнеспособных участков сосуда увеличился до 5,0 см, что полностью согласуется с фундаментальными принципами военно-полевой хирургии.

Диагностическая стратегия в полевом госпитале

В условиях мобильной медицинской группы возможности инструментальной диагностики жестко лимитированы. Отсутствие КТ-ангиографии делает методом выбора УЗАС сосудов. Согласно современным литературным данным, применение расширенного протокола FAST (e-FAST) в сочетании с УЗАС конечностей позволяет в течение 10–15 минут верифицировать уровень повреждения артериального русла, выявить пульсирующую гематому

и оценить параметры дистального коллатерального кровотока. Чувствительность ультразвукового метода при ранениях магистральных артерий достигает 94 %, а специфичность — 97 % [7, 12].

В представленном клиническом случае УЗАС позволило оперативно верифицировать полный поперечный разрыв плечевой артерии, измерить величину диастаза и доплерографически подтвердить декомпенсированный характер дистального кровотока, что явилось абсолютным показанием к экстренной реваскуляризации. Дополнительное рентгенологическое исследование в двух проекциях позволило точно локализовать металлические осколки (включая внутрикостное расположение в наружном мыщелке плечевой кости), что имело определяющее значение для планирования последнего остеосинтеза.

Повреждение печени (рана длиной 0,5 см без признаков активного кровотечения) соответствовало I степени тяжести по классификации AAST (American Association for the Surgery of Trauma). Данный тип повреждения не требовал выполнения обширной резекции органа, что позволило ограничиться локальным ушиванием и аппликацией гемостатической губки. Тем не менее, локализация осколка в S₅ (V сегменте) создавала потенциальный риск его миграции или инфицирования. С целью верификации стабильности его положения была выполнена интраоперационная рентгеноскопия с использованием С-дуги, подтвердившая безопасность отказа от травматичного поиска инородного тела в толще паренхимы.

Принципы damage control при сочетанной травме

Концепция damage control служит признанным международным стандартом при лечении политравмы и тяжелых сочетанных ранений [10, 11]. Ее фундаментальные принципы включают экстренное устранение источников жизнеугрожающего кровотечения, деконтаминацию очагов повреждения, временную стабильную фиксацию переломов и перенос окончательных травматологических и пластических реконструкций до периода полной стабилизации гомеостаза пациента [4, 5]. В описанном клиническом наблюдении последовательность и

приоритетность хирургических этапов
были строго регламентированы.

Первоочередное выполнение экстренной лапаротомии было продиктовано необходимостью надежного контроля и окончательной остановки внутрибрюшного кровотечения. Несмотря на малый объем излившейся в брюшную полость крови (30–40 мл), риск манифестации профузного кровотечения из раны печени на фоне системной гепаринизации, обязательной при последующем сосудистом этапе, оставался критически высоким. Минимальный объем интраоперационной кровопотери на абдоминальном этапе (10 мл) подтвердил правильность выбранного подхода.

Вторым приоритетом стала экстренная сосудистая реконструкция, направленная на скорейшее восстановление магистрального притока к дистальным отделам конечности с целью минимизации времени тепловой ишемии (которое в данном случае составило около 8 часов) и спасения жизнеспособности тканей.

Заключительным этапом хирургической сессии в рамках одного операционного дня стал остеосинтез костей кисти и наложение мостовидного АВФ на предплечье. Временная внеочаговая стабилизация костных отломков обеспечила жесткую фиксацию, необходимую не только для сохранения анатомической репозиции, но и для предотвращения натяжения, перегиба или механической травматизации сформированного аутовенозного анастомоза при перекладывании и эвакуации пациента, а также для ранней профилактики тромбозмембральных осложнений.

Выбранная мультидисциплинарной бригадой этапность полностью согласуется с клиническими рекомендациями Д.В. Тришкина и соавт. (2024), согласно которым остановка кровотечения из паренхиматозных органов брюшной полости и забрюшинного пространства всегда имеет безусловный приоритет перед реконструктивными операциями на периферических сосудах конечностей [18]. Немаловажным фактором успешного исхода явился малый совокупный объем интраоперационной кровопотери (около 160 мл), что позволило избежать развития тяжелой коагулопатии разведения и исключило потребность в массивной трансфузии компонентов крови.

Выбор метода сосудистой реконструкции

При протяженном дефекте артериального русла с истинным диастазом между культями 5,0 см рассматривались три тактических варианта реваскуляризации: формирование прямого анастомоза за счет проксимальной и дистальной мобилизации сосуда, имплантация синтетического эксплантата или аутовенозное протезирование. Выполнение прямого анастомоза «конец-в-конец» было признано невозможным из-за критического натяжения тканей, сопряженного с высоким риском прорезывания швов и спазма артерии. Использование синтетических кондуитов — например, из политетрафторэтилена (ePTFE) или полиэтилентерефталата — в условиях первично загрязненной осколочной раны противопоказано ввиду крайне высокой вероятности их инфицирования с последующим аррозивным кровотечением или тромбозом [14]. В связи с этим аутоотрансплантация большой подкожной вены (аутовенозная пластика) обоснованно рассматривается как «золотой стандарт» военно-полевой ангиохирургии. Согласно профильной литературе, частота тромботических осложнений при использовании аутоотрансплантатов не превышает 5–8 %, а риск развития инфекции составляет всего 2–3 % [13, 16, 21].

В представленном клиническом наблюдении было выполнено протезирование плечевой артерии реверсированным аутовенозным кондуитом длиной 5,0 см, заготовленным из ствола большой подкожной вены контралатеральной (левой) нижней конечности. Данные интраоперационного и контрольного УЗАС, зафиксировавшие восстановление адекватного магистрального кровотока по плечевой, лучевой и локтевой артериям, полностью подтвердили эффективность проведенной реваскуляризации и жизнеспособность конечности в отдаленном периоде.

Остеосинтез при огнестрельных переломах на фоне сосудистой реконструкции

Множественные сегментарные повреждения костей правого предплечья и кисти (включая локтевую, лучевую, V пястную кости и проксимальную фалангу III пальца) создавали критически высокий риск вторичного смещения отломков в раннем послеоперацион-

ном периоде. Подобное смещение неизбежно привело бы к механической компрессии дистального сосудистого русла, натяжению сформированного анастомоза и, как следствие, к острому тромбозу аутовенозного трансплантата [22]. Выбор мостовидного АВФ был полностью продиктован принципами damage control: данный метод отличается быстротой выполнения, минимальной инвазивностью и не требует проведения травматичных повторных вмешательств на костных структурах до момента стабилизации общего состояния раневого процесса [15, 23].

В отличие от погружного (накостного или интрамедуллярного) остеосинтеза, применение АВФ исключает необходимость широкого скелетирования фрагментов кости, что позволяет избежать дополнительного разрушения периостальных и мышечных коллатеральных сосудов в зоне повреждения. Как показано в исследовании А.В. Чупряева и соавт. (2024), при сочетанной травме конечностей с повреждением магистрального сосудистого русла своевременная внеочаговая фиксация АВФ значительно снижает риски манифестации и прогрессирования субфасциального гипертензионного синдрома (компармент-синдрома) [23].

Сравнение с литературными данными

Схожие клинические наблюдения сочетанных огнестрельных и минно-взрывных повреждений сосудистого русла описаны в ряде современных публикаций. Так, В.Н. Холматов и соавт. (2025) представили клинический случай минно-взрывного ранения, осложнившегося формированием ложной аневризмы подколенной артерии, при котором авторами также успешно использовалось аутовенозное протезирование, однако у данного па-

циента отсутствовало сопутствующее повреждение органов брюшной полости [12]. В работе С.А. Кыштымова и соавт. (2025) описан случай изолированного повреждения подколенной артерии при тяжелой травме коленного сустава; примечательно, что реконструктивно-пластический этап у данного пострадавшего был выполнен в отсроченном порядке, через длительный период ишемии, но также привел к благоприятному функциональному исходу [15].

Наиболее близким к представленному нами профилю повреждений является клинический случай, описанный А.Н. Казанцевым и соавт. (2025), в котором продемонстрировано нестандартное хирургическое лечение осколочного ранения бедра с повреждением магистрального сосудистого пучка, осложнившегося острой эмболией артерий голени [13]. Авторы применили аутовенозное протезирование реверсированной БПВ и добились адекватного восстановления дистального кровотока. Тем не менее, в их клиническом примере отсутствовала сопутствующая абдоминальная травма, что существенно снижало риски интраоперационных коагулопатических осложнений и исключало необходимость мультидисциплинарного хирургического маневра.

Уникальность и клиническая ценность нашего наблюдения заключаются в сочетанном характере двух конкурирующих по тяжести жизнеугрожающих повреждений (закрытой травмы печени с гемоперитонеумом и полного разрыва магистральной артерии конечности с глубокой декомпенсированной ишемией) на фоне множественных многоосколчатых переломов костей предплечья и кисти. Столь критический уровень политравматизма в условиях дефицита

времени передового госпиталя требует строгого соблюдения патогенетически обоснованной хирургической триады концепции damage control: надежный гемостаз в брюшной полости → экстренная реваскуляризация конечности → стабильная внеочаговая фиксация скелета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный клинический случай демонстрирует успешное хирургическое лечение пациента с сочетанным осколочным ранением груди, живота и конечностей, полученным в зоне проведения специальной военной операции. Ключевыми компонентами благоприятного исхода стали: своевременная диагностика (клинический осмотр в сочетании с ультразвуковым ангиосканированием), четкое соблюдение принципов damage control (лапаротомия → реваскуляризация → остеосинтез), правильный выбор метода сосудистой реконструкции (аутовенозное протезирование реверсированной БПВ) и адекватная фиксация переломов АВФ и спицами.

Данный опыт подтверждает, что в условиях мобильной медицинской группы аэромобильного отряда при наличии обученной хирургической бригады, базового ультразвукового оборудования и интраоперационной рентгенографии (С-дуги) возможно выполнение сложных реконструктивных вмешательств при сочетанной боевой травме.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Ivchenko EV, Ovchinnikov DV. Main scientific and practical results of the study of combat pathology during the special military operation period at the military medical academy. *News of the Russian Military Medical Academy*. 2024;43(4):457-469. DOI:10.17816/rmmar636549. Russian (Ивченко Е. В., Овчинников Д. В. Основные научно-практические итоги изучения в военно-медицинской академии боевой патологии периода специальной военной операции // Известия Российской военно-медицинской академии. 2024. Т. 43, № 4. С. 457-469.)
2. Dorokhov AE, Akperova SR, Prosvetov SG. Analysis of the nature of injuries and wounds sustained during a special military operation. *Youth Innovation Bulletin*. 2023;12(S2):138-140. Russian (Дорохов А. Е., Акперова С. Р., Просветов С. Г. Анализ характера травм и ранений, полученных в ходе специальной военной операции // Молодежный инновационный вестник. 2023. Т. 12, № S2. С. 138-140.)
3. Trishkin DV. Results of the activities of the medical service of the armed forces of the Russian Federation in 2024 and tasks for 2025. *Military Medical Journal*. 2025;346(1):4-20. DOI:10.52424/00269050_2024_346_1_4. Russian (Тришкин Д. В. Итоги деятельности медицинской службы вооруженных сил российской федерации в 2024 году и задачи на 2025 год // Военно-медицинский журнал. 2025. Т. 346, № 1. С. 4-20.)
4. Seliverstov PA, Shapkin YuG. Application of damage control tactics for combat limb injuries at forward stages of medical evacuation

- in modern warfare (literature review). *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2023; (1):42-52. DOI:10.25016/2541-7487-2023-0-1-42-52. Russian (Селиверстов П. А., Шапкин Ю. Г. Применение тактики контроля повреждений при боевых травмах конечностей на передовых этапах медицинской эвакуации в условиях современных войн (обзор литературы) // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2023. № 1. С. 42-52.)
5. Ovcharenko AP, Lemeshkin RN, Rusev IT, Severin VV, Prokin IG, Tolstosheev VN. Effectiveness of bringing specialized medical care closer to the area of sanitary losses using multidisciplinary surgical reinforcement teams. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2021;23(4):221-234. DOI:10.17816/brmma87409. Russian (Обчаренко А. П., Лемешкин Р. Н., Русев И. Т., Северин В. В., Прокин И. Г., Толстошеев В. Н. Эффективность приближения специализированной медицинской помощи к зоне санитарных потерь с применением многопрофильных групп хирургического усиления // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2021. Т. 23, № 4. С. 221-234.)
 6. Tenishev RR, Kazantsev AN, Belyai ZhM, Shishkin AG, Koshil YuE, Yakimavichus RP, et al. Results of surgical treatment of patients with peripheral artery pseudoaneurysms in a military field hospital of a special military operation zone. *Russian Journal of Cardiology*. 2025;30(S10):67-73. DOI:10.15829/1560-4071-2025-6477. Russian (Тенишев Р. Р., Казанцев А. Н., Беляй Ж. М., Шишкин А. Г., Кошиль Ю. Е., Якимавичус Р. П. и др. Результаты хирургического лечения пациентов с ложными аневризмами периферических артерий в военно-полевом госпитале зоны специальной военной операции // Российский кардиологический журнал. 2025. Т. 30, № S10. С. 67-73.)
 7. Kazantsev AN, Vshivkov KN, Popov AA, Bushlanov PS, Gaptrakipov IKh, Pavlenko NA, et al. False aneurysm and arteriovenous fistula between the popliteal artery and popliteal vein one year after a shrapnel wound: surgical reconstruction in a military field hospital of a special military operation zone. *Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2025; 40(4):220-226. DOI:10.29001/2073-8552-2025-40-4-220-226. Russian (Казанцев А. Н., Вшивков К. Н., Попов А. А., Бушланов П. С., Гаптракипов И. Х., Павленко Н. А. и др. Ложная аневризма и артериовенозная фистула между подколенной артерией и подколенной веной спустя год после осколочного ранения: хирургическая реконструкция в условиях военно-полевого госпиталя зоны специальной военной операции // Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины. 2025. Т. 40, № 4. С. 220-226.)
 8. Sharrock AE, Tai N, Perkins Z, White JM, Remick KN, Rickard RF, et al. Management and outcome of 597 wartime penetrating lower extremity arterial injuries from an international military cohort. *J Vasc Surg*. 2019;70(1):224-232. DOI:10.1016/j.jvs.2018.11.024.
 9. Tsoi IE, Voksina AA, Shungaev ChB, Zakharchenko EV, Toloknova AS, Sementsov IV. Modern methods of bleeding control in combat wounds. *International Student Scientific Bulletin*. 2023;(1):24. DOI:10.17513/msnv.21190. Russian (Цой И. Е., Воксина А. А., Шунгаев Ч. Б., Захарченко Е. В., Толокнова А. С., Семенцов И. В. Современные методы остановки кровотечений при боевых ранениях // Международный студенческий научный вестник. 2023. № 1. С. 24.)
 10. Batyrshin IM, Kizyavka MI, Sklizkov DS, Ostroumova YuS, Mikhelson EP, Borodina MA, et al. Application of damage control principles and use of negative pressure wound therapy for the prevention of infectious complications in a patient with traumatic upper limb avulsion and massive soft tissue damage. *Wounds and Wound Infections. Journal named after Prof. B. M. Kostyuchenok*. 2019;6(4):22-25. DOI:10.25199/2408-9613-2019-6-4-22-25. Russian (Батыршин И. М., Кизьявка М. И., Склизков Д. С., Остроумова Ю. С., Михельсон Е. П., Бородин М. А. и др. Применение принципов damage control и использование системы локального отрицательного давления для профилактики инфекционных осложнений у пациента с травматическим отрывом верхней конечности и массивным повреждением мягких тканей // Раны и раневые инфекции. Журнал имени проф. Б. М. Костюченко. 2019. Т. 6, № 4. С. 22-25.)
 11. Agalaryan AKh, Gilev YaKh, Skopintsev DA, Yakushin OA, Rotkin EA, Drugov AS, et al. Surgical treatment of massive soft tissue injury in traumatic lower limb avulsion in a patient with polytrauma. *Polytrauma*. 2016;(4):81-84. EDN: XISGSB. Russian (Агаларян А. Х., Гилев Я. Х., Скопинцев Д. А., Якушин О. А., Роткин Е. А., Другов А. С. и др. Хирургическое лечение массивного повреждения мягких тканей при травматическом отрыве нижней конечности у пострадавшего с политравмой // Политравма. 2016. № 4. С. 81-84.)
 12. Kholmato VN, Kazantsev AN, Bolibok NV, Belyai ZhM, Tenishev RR, Gaptrakipov IKh. Surgical treatment of mine-explosive injury with the formation of a false aneurysm of the popliteal artery in a military field hospital of a special military operation zone. *Polytrauma*. 2025;(3):44-50. DOI:10.24412/1819-1495-2025-3-44-50. Russian (Холматов В. Н., Казанцев А. Н., Болибок Н. В., Беляй Ж. М., Тенишев Р. Р., Гаптракипов И. Х. Хирургическое лечение минновзрывного ранения с формированием ложной аневризмы подколенной артерии в условиях военно-полевого госпиталя зоны специальной военной операции // Политравма. 2025. № 3. С. 44-50.)
 13. Kazantsev AN, Vshivkov KN, Bushlanov PS, Popov AA, Gaptrakipov IKh, Pavlenko NA, et al. Non-standard surgical treatment of a shrapnel wound of the thigh with damage to the vascular bundle and embolism of the leg arteries. *Translational Medicine*. 2025;12(5):484-495. DOI:10.18705/2311-4495-2025-12-5-484-495. Russian (Казанцев А. Н., Вшивков К. Н., Бушланов П. С., Попов А. А., Гаптракипов И. Х., Павленко Н. А. и др. Нестандартное хирургическое лечение осколочного ранения бедра с повреждением сосудистого пучка и эмболией артерий голени // Трансляционная медицина. 2025. Т. 12, № 5. С. 484-495.)
 14. Steklov VI, Krasnikov MP, Gorin DYU, Morozova NV. Clinical case of post-traumatic arteriovenous fistula separation on the lower leg. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2025;(9):128-133. DOI:10.17116/hirurgia2025091128. Russian (Стеклов В. И., Красников М. П., Горин Д. Ю., Морозова Н. В. Клинический случай разобщения посттравматической артериовенозной фистулы на голени // Хирургия. Журнал им. Н. И. Пирогова. 2025. № 9. С. 128-133.)
 15. Kishtymov SA, Belov AK, Simashko AA, Grigoriev EG. Mine-explosive injury of the knee joint with damage to the popliteal artery. *Polytrauma*. 2025;(1):41-45. DOI:10.24412/1819-1495-2025-1-41-45. Russian (Кыштымов С. А., Белов А. К., Симашко А. А., Григорьев Е. Г. Минно-взрывная травма коленного сустава с повреждением подколенной артерии // Политравма. 2025. № 1. С. 41-45.)
 16. Iskusov PV, Bragina SV, Sovershaev AE, Sobolev EI, Zvorykin AS, Sharypova EP. Partial traumatic amputation of the posterior part of the right foot with damage to the posterior tibial artery. *Genius of Orthopedics*. 2023;29(4):419-424. DOI:10.18019/1028-4427-2023-29-3-419-424. Russian (Искусов П. В., Брагина С. В., Совершаев А. Е.,

Соболев Е. И., Зворыкин А. С., Шарыпова Е. П. Частичная травматическая ампутация заднего отдела правой стопы с повреждением задней большеберцовой артерии // *Гений ортопедии*. 2023. Т. 29, № 4. С. 419-424.)

17. Suprunov IK, Skryabin EG. Hand injuries caused by contact with operating electric meat grinders (literature review illustrated by own clinical observations). *Genius of Orthopedics*. 2025;31(1):83-90. DOI:10.18019/1028-4427-2025-31-1-83-90. Russian (Супрунов И. К., Скрябин Е. Г. Травмы рук, полученные при контакте с работающими электрическими мясорубками (обзор литературы, иллюстрированный собственными клиническими наблюдениями) // *Гений ортопедии*. 2025. Т. 31, № 1. С. 83-90.)
18. Trishkin DV, Kryukov EV, Davydov DV, Khominets VV, Brizhan LK, Konokotin DA. Development of the concept of medical care for the wounded with injuries of the musculoskeletal system in modern conditions. *Military Medical Journal*. 2024;345(5):4-11. DOI:10.52424/00269050_2024_345_5_4. Russian (Тришкин Д. В., Крюков Е. В., Давыдов Д. В., Хоминец В. В., Брижань Л. К., Конокотин Д. А. Развитие концепции оказания медицинской помощи раненым с повреждениями опорно-двигательного аппарата в современных условиях // *Военно-медицинский журнал*. 2024. Т. 345, № 5. С. 4-11.)
19. Umansky DB, Shevchenko AV, Sharypov AS, Bogdanov RS. Choice of treatment method for open tibial fractures with incomplete traumatic limb avulsion. A clinical case. *Scientist (Russia)*. 2019;4(10):21. Russian (Уманский Д. Б., Шевченко А. В., Шарыпов А. С., Богданов Р. С. Выбор методики лечения открытых переломов голени при неполном травматическом отрыве конечности. Клинический случай // *Scientist (Россия)*. 2019. № 4 (10). С. 21.)
20. Zakharov PA, Ovchinnikova AA, Tolkachev YaD, Gladyshev NS, Pecherskaya MS, Emelin AM, et al. Structural and ultrastructural changes of striated skeletal muscle tissue after high-energy injuries in the early post-traumatic period. *Morphology*. 2025;163(4):363-377. DOI:10.17816/morph.688357. Russian (Захаров П. А., Овчинникова А. А., Толкачев Я. Д., Гладышев Н. С., Печерская М. С., Емелин А. М. и др. Структурные и ультраструктурные изменения поперечно-полосатой скелетной мышечной ткани после высокоэнергетических повреждений в ранний посттравматический период // *Морфология*. 2025. Т. 163, № 4. С. 363-377.)
21. Gavrilov EK, Ramazanov AYU, Goncharov AV, Lyabakh DD, Khasanov AR. Frequency and structure of combat gunshot vascular injury in a forward medical organization of the third level in a modern armed conflict. *Angiology and Vascular Surgery*. 2024;30(2):143-150. DOI:10.33029/1027-6661-2024-30-2-143-150. Russian (Гаврилов Е. К., Рамазанов А. Ю., Гончаров А. В., Лябах Д. Д., Хасанов А. Р. Частота и структура боевой огнестрельной сосудистой травмы в передовой медицинской организации третьего уровня в современном вооруженном конфликте // *Ангиология и сосудистая хирургия. Журнал им. академика А. В. Покровского*. 2024. Т. 30, № 2. С. 143-150.)
22. Amonov LA, Makhsudov FM, Saypiev AA, Khojanov IYu, Novikov KI, Sergeev KS. Incomplete traumatic avulsion of the upper limb: tactics of limb salvage in the conflict of angio- and osteotasks. *Polytrauma*. 2025;(2):65-70. DOI:10.24412/1819-1495-2025-2-65-70. Russian (Амонов Л. А., Махсудов Ф. М., Сайпиев А. А., Ходжанов И. Ю., Новиков К. И., Сергеев К. С. Неполный травматический отрыв верхней конечности: тактика спасения конечности при конфликте ангио- и остеозадач // *Политравма*. 2025. № 2. С. 65-70.)
23. Chupryaev VA, Kudyashev AL, Khominets VV, Badalov VI, Strelba AA. Features of treatment of wounded with amputation defects of lower extremities in combination with bone fractures. *Bulletin of Pirogov National Medical and Surgical Center*. 2024; 19(1):143-148. DOI:10.25881/20728255_2024_19_1_143. Russian (Чупряев В. А., Кудяшев А. Л., Хоминец В. В., Бадалов В. И., Стрельба А. А. Особенности лечения раненых с ампутированными дефектами нижних конечностей в сочетании с переломами костей // *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н. И. Пирогова*. 2024. Т. 19, № 1. С. 143-148.)

Сведения об авторах:

Казанцев Антон Николаевич (автор для переписки) — военный врач ФГКУ «36 отдельный медицинский отряд (аэромобильный) воздушно-десантных войск» Минобороны России; ул. Окуловой, д. 84, г. Иваново, Россия, 153020. <https://orcid.org/0000-0002-1115-609X>. E-mail: dr.antonio.kazantsev@mail.ru

Фатеев Сергей Сергеевич — военный врач ФГКУ «36 отдельный медицинский отряд (аэромобильный) воздушно-десантных войск» Минобороны России; ул. Окуловой, д. 84, г. Иваново, Россия, 153020. <https://orcid.org/0000-0001-7075-2599>

Бушланов Павел Сергеевич — военный врач ФГКУ «36 отдельный медицинский отряд (аэромобильный) воздушно-десантных войск» Минобороны России; ул. Окуловой, д. 84, г. Иваново, Россия, 153020. <https://orcid.org/0000-0001-7075-2599>

Алексеев Олег Валерьевич — военный врач ФГКУ «36 отдельный медицинский отряд (аэромобильный) воздушно-десантных войск» Минобороны России; ул. Окуловой, д. 84, г. Иваново, Россия, 153020. <https://orcid.org/0000-0002-9120-7343>

Эмбрехт Дмитрий Юрьевич — военный врач ФГКУ «36 отдельный медицинский отряд (аэромобильный) воздушно-десантных

Information about authors:

Kazantsev Anton Nikolaevich (author for correspondence) — military physician, 36th Independent Medical Detachment (Airmobile) of the Airborne Forces, Ministry of Defence of the Russian Federation; 84 Okulovoy St., Ivanovo, Russia, 153020. <https://orcid.org/0000-0002-1115-609X>. E-mail: dr.antonio.kazantsev@mail.ru

Fateev Sergey Sergeyevich — military physician, 36th Independent Medical Detachment (Airmobile) of the Airborne Forces, Ministry of Defence of the Russian Federation; 84 Okulovoy St., Ivanovo, Russia, 153020. <https://orcid.org/0000-0001-7075-2599>

Bushlanov Pavel Sergeevich — military physician, 36th Independent Medical Detachment (Airmobile) of the Airborne Forces, Ministry of Defence of the Russian Federation; 84 Okulovoy St., Ivanovo, Russia, 153020. <https://orcid.org/0000-0001-7075-2599>

Alekseev Oleg Valerievich — military physician, 36th Independent Medical Detachment (Airmobile) of the Airborne Forces, Ministry of Defence of the Russian Federation; 84 Okulovoy St., Ivanovo, Russia, 153020. <https://orcid.org/0000-0002-9120-7343>

Embrekht Dmitry Yuryevich — military physician, 36th Independent Medical Detachment (Airmobile) of the Airborne Forces, Ministry

войск» Минобороны России; ул. Окуловой, д. 84, г. Иваново, Россия,
153020. <https://orcid.org/0009-0008-3241-1409>

of Defence of the Russian Federation; 84 Okulovoy St., Ivanovo, Russia,
153020. <https://orcid.org/0009-0008-3241-1409>

Статья поступила в редакцию 23.03.2026

Рецензирование пройдено 30.06.2026

Подписано в печать 31.07.2026

Received 23.03.2026

Review completed 30.06.2026

Passed for printing 31.07.2026



РЕЗУЛЬТАТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В РЕАБИЛИТАЦИИ ИНВАЛИДА С ТЕТРАПЛЕГИЕЙ: КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ

THE RESULT OF USING VIRTUAL REALITY TECHNOLOGY IN REHABILITATION OF A PERSON WITH TETRAPLEGIA: A CLINICAL CASE

Коновалова Н.Г. Konovalova N.G.
Хохлова О.И. Khokhlova O.I.
Васильченко Е.М. Vasilchenko E.M.

ФГБУ «Новокузнецкий научно-практический центр медико-социальной экспертизы и реабилитации инвалидов» Минтруда России, г. Новокузнецк, Россия
Novokuznetsk Scientific and Practical Centre for Medical and Social Evaluation and Rehabilitation of Disabled Persons, Novokuznetsk, Russia

Применение технологии виртуальной реальности (virtual reality, VR) у пациентов с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы находится на этапе накопления клинического опыта и представляет практический интерес для неврологов и врачей восстановительной медицины.

Цель. Оценить на примере клинического случая результат применения VR-технологии как составной части индивидуальной программы медицинской реабилитации пациента в позднем периоде травматической болезни спинного мозга.

Материал и методы. Пациентка Ф. 56 лет поступила на курс медицинской реабилитации с диагнозом: «Поздний период травматической болезни спинного мозга, синдром частичного нарушения проводимости с уровня С6, тип «С» по шкале AIS (код МКБ-10: T91.3), тетраплегия». Основу реабилитации составили занятия лечебной физкультурой с преимущественным использованием VR-технологии, направленные на улучшение регуляции позы и восстановление произвольных движений.

Результаты. К концу курса реабилитации у пациентки отмечена положительная динамика: увеличение объема произвольных движений в суставах, силы и электрической активности мышц верхних конечностей, улучшение баланса в положении сидя, что позволило ей усовершенствовать навыки самостоятельного передвижения в кресле-коляске, повысить уровень мобильности и независимости в повседневной жизни.

Заключение. Показана перспективность использования VR-технологии в реабилитации пациентов в позднем периоде травматической болезни спинного мозга для расширения спектра двигательной активности и улучшения социально-бытовой адаптированности.

Ключевые слова: травматическая болезнь спинного мозга; тетраплегия; реабилитация; виртуальная реальность

The use of virtual reality (VR) technology in patients with the consequences of spinal cord injury is going through the stage of accumulating clinical experience and is therefore of practical interest for neurologists and restorative physicians.

Objective — to evaluate the result of using VR technology as a component of the individualized medical rehabilitation program for a patient in the late period of traumatic spinal cord injury.

Materials and methods. Female patient F., aged 56, was admitted for medical rehabilitation with the diagnosis of late-period TSCI, AIS grade C incomplete conduction disorder (code T91.3 according to ICD-10) and tetraplegia. The basis of her restorative treatment were VR rehabilitation and exercises to improve postural control and to restore voluntary movements.

Results. By the end of the rehabilitation course in improvements including an increased range of movement in the joints, an increased strength and electrical activity in upper extremity muscles and an improved balance in the sitting position, which enabled the patient to improve her wheelchair mobility skills and to increase her independence level.

Conclusion. The potential of using VR technology in the rehabilitation of patients in the late period of traumatic spinal cord injury is demonstrated to expand the range of motor activity of this contingent and improve their social and everyday adaptability.

Keywords: traumatic spinal cord injury; tetraplegia; rehabilitation; virtual reality

Повреждение спинного мозга остается серьезным бременем для населения трудоспособного возраста и оказывает существенное влияние на

глобальное общественное здравоохранение, несмотря на общую тенденцию к снижению его распространенности в мире [1]. Тяжелое повреждение спин-

ного мозга приводит к стойкому сенсорному и моторному дефициту ниже уровня поражения, развитию болевого синдрома, спастичности, а также к дис-

Для цитирования: Коновалова Н.Г., Хохлова О.И., Васильченко Е.М. РЕЗУЛЬТАТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В РЕАБИЛИТАЦИИ ИНВАЛИДА С ТЕТРАПЛЕГИЕЙ: КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ //ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2026. № 3. С. 92-97.

Режим доступа: <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/709>

DOI: 10.24412/1819-1495-2026-3-92-97

функции тазовых органов. Эти факторы резко ограничивают повседневную активность пациентов, провоцируют эмоциональные расстройства и значительно снижают качество жизни [2].

Прогресс в оказании медицинской помощи при вертебро-медуллярной травме позволил увеличить продолжительность жизни пострадавших, однако задачи их эффективной реабилитации и социально-бытовой адаптации все еще далеки от решения. Современные методы исследований помогают раскрыть глубинные патогенетические механизмы травмы и обусловленные ими сложные, многообразные перестройки в центральной нервной системе (ЦНС) [3, 4]. При этом регенерация нейронов или формирование новых нейронных связей при травматической болезни спинного мозга (ТБСМ) не всегда приводят к восстановлению утраченных функций [5]. В связи с этим возникает необходимость в целенаправленной стимуляции реорганизации и интеграции нейронных цепей с помощью технологий, активирующих восстановление статодинамических функций — позы и движений [6].

С учетом современных научных данных формируются патогенетически обоснованные подходы [4], разрабатываются новые методы лечения, которые проходят апробацию [7]. Доказано, что применение стратегий, воздействующих на несколько патологических процессов при ТБСМ, эффективнее монометода [8].

В настоящее время в реабилитации пациентов с патологией ЦНС широко используется технология виртуальной реальности (virtual reality, VR) [9, 10]. По мнению исследователей, интеграция VR в лечебный процесс делает тренировки двигательных навыков менее утомительными и более привлекательными для пациентов, что существенно повышает комплаентность и улучшает итоговые результаты лечения [6, 8, 11]. Применение VR-технологий у лиц после перенесенной травмы позвоночника находится на этапе накопления клинического опыта [11]. Для восстановления постратуральных, локомоторных и мануальных функций, уменьшения выраженности болевого синдрома, улучшения социально-бытовой адаптации применяют иммерсионные, полумиммерсионные и немиммерсионные системы; VR выступает в качестве монометода или в сочетании с другими

методами восстановительного лечения [12]. На данном этапе различные варианты применения виртуальных технологий с оценкой их эффективности представляют интерес для неврологов и врачей восстановительной медицины.

Цель исследования — оценить на примере клинического случая результат применения VR-технологии как составной части индивидуальной программы медицинской реабилитации пациента в позднем периоде ТБСМ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проанализированы результаты медицинской реабилитации пациентки Ф., 56 лет, поступившей в клинику ФГБУ «Новокузнецкий научно-практический центр медико-социальной экспертизы и реабилитации инвалидов» Минтруда России с диагнозом: «МКБ-10: T91.3. Поздний период травматической болезни спинного мозга вследствие перелома позвонка C7 и вывиха позвонка C6. Синдром частичного нарушения по спинному мозгу с уровня C6; тетраплегия (верхний вялый, нижний спастический парализ); неполное нарушение проводимости по спинному мозгу — *тип C* по шкале AIS (ASIA Impairment Scale)».

Из анамнеза: травма получена 28.07.2019 г. (перелом позвонка C7, вывих позвонка C6 с полным нарушением проводимости спинного мозга). Пациентка проходила лечение в Краевой клинической больнице (г. Красноярск), где 30.07.2019 г. выполнено оперативное вмешательство: резекция тела C7 позвонка, передний корпоредез C6–Th1 кейджем и пластиной. В течение месяца после операции находилась на искусственной вентиляции легких (ИВЛ) и инотропной поддержке. В августе 2019 года выполнена трахеостомия; деканюлирована в январе 2020 года. В последующем женщина неоднократно проходила курсы восстановительного лечения в реабилитационных центрах Красноярска. Длительность посттравматического периода до момента госпитализации в клинику ФГБУ ННПЦ МСЭ и РИ Минтруда России составила 5 лет и 5 месяцев.

Жалобы при поступлении: слабость в верхних и нижних конечностях, невозможность удерживать положение сидя без дополнительной опоры (о спинку и подлокотники кресла-коляски), а также трудности при самосто-

ятельном преодолении дверных проемов и порогов на кресле-коляске.

Неврологический статус: общемозговая и менингеальная симптоматика отсутствует. Пациентка ориентирована в месте, времени и собственной личности, критична к своему состоянию. Черепно-мозговая иннервация: глазные щели и зрачки симметричные (D = S), движения глазных яблок в полном объеме, содружественные, ништагма нет. Лицо симметрично в покое и при мимических пробах. Язык по средней линии. Глоточный рефлекс сохранен. Чувствительная сфера: проводниковая гипестезия на туловище и конечностях с уровня дерматомы C5, переходящая в тотальную анестезию (или глубокую гипестезию) с уровня 4-го межреберья (уровень дерматомы Th4).

В работе оценивали следующие показатели: мышечную силу — по 6-балльной шкале MRC (Medical Research Council Scale); объем активных движений в суставах — методом гониометрии (угломерии); электрическую активность мышц верхних конечностей — по данным электромиографии (ЭМГ).

ЭМГ-исследование выполняли на 4-канальном электронейромиографе «Нейро-МВП-4» (ООО «Нейрософт», Россия, г. Иваново).

Двигательные функции верхних конечностей оценивали с помощью модифицированного теста руки Френчай (Frenchay Arm Test, FAT). Уровень независимости пациентки в повседневной жизни определяли по шкале SCIM-III (Spinal Cord Independence Measure, версия III). Проблемы в основных сферах жизнедеятельности идентифицировали с использованием Канадской оценки выполнения деятельности (The Canadian Occupational Performance Measure, COPM).

Все процедуры, описанные в статье, соответствуют стандартам этического комитета учреждения, проводившего исследование, и Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации в редакции 2013 года. Исследование одобрено комитетом по биоэтике ФГБУ ННПЦ МСЭ и РИ Минтруда России (протокол № 1 от 10.02.2025 г.).

РЕЗУЛЬТАТЫ

При поступлении у пациентки отмечалось практически полное отсутствие произвольных сокращений во

всех мышечных группах нижних конечностей (0–1 балл по шкале MRC), за исключением сгибателей левого бедра (1–2 балла). Сила мышц верхних конечностей была существенно выше, с преобладанием на левой стороне. Так, сила сгибателей, разгибателей, отводящих и приводящих мышц плеча, а также сгибателей предплечья с обеих сторон составляла 3 балла. Сила разгибателей предплечья, сгибателей и разгибателей кисти слева достигала 3 баллов, тогда как справа не превышала 2 баллов. Сила сгибателей пальцев левой кисти оценивалась в 1–2 балла; в пальцах правой кисти активные движения полностью отсутствовали.

Объем движений в суставах: активные движения в плечевых и локтевых суставах сохранялись в полном объеме, тогда как в лучезапястных суставах фиксировалось их ограничение (табл. 1). Активные движения в суставах пальцев обеих кистей отсутствовали. Движения в суставах туловища были резко ограничены из-за выраженного нарушения функции равновесия и невозможности самостоятельного удержания позы сидя.

По данным ЭМГ верифицированы признаки миелорадикулопатии на шейном уровне и умеренно выраженной демиелинизирующей радикулопатии C6–Th1 с признаками грубой аксонопатии C7–Th1 слева, а также частичное нарушение проводимости

по спинному мозгу на уровне нижних шейных сегментов. Электрическая активность исследованных мышц верхних конечностей при максимальном произвольном напряжении была диффузно снижена (табл. 2).

При первичном обследовании пациентка в положении лежа самостоятельно переворачивалась со спины на живот и обратно. Переход в положение сидя и удержание позы были возможны только с опорой на спинку и подлокотники кресла-коляски. Мобильность в кресле-коляске ограничивалась передвижением по ровной поверхности (вперед, назад) и возможностью разворота.

Мануальные функции были значительно снижены: пациентка оказалась не способна полноценно выполнить более половины заданий теста руки Френчай (табл. 3).

В повседневной жизни сохранялась полная зависимость от посторонней помощи. Согласно результатам канадской оценки выполнения деятельности (шкала COPM), приоритетной сферой жизнедеятельности, которую пациентка стремилась улучшить за курс реабилитации, стало самообслуживание (а именно — мытье тела). При первичном опросе выполнение этой деятельности пациентка оценила в 3 балла, а удовлетворенность результатом — в 2 балла (из 10 максимально возможных).

Основу восстановительного лечения составили занятия с использованием VR-технологий, направленные на улучшение постурального контроля и восстановление произвольных движений. Параллельно реализовывалась стандартная программа медицинской реабилитации, включающая лечебную физкультуру (ЛФК) для укрепления мышечного корсета и активизации движений в конечностях, тренировки на циклических тренажерах (велотренажере), а также медицинский массаж спины и воротниковой зоны. В течение дня высоконагрузочные процедуры чередовались с менее интенсивными; интервал между ними составлял не менее 30 минут. Продолжительность курса составила 10 дней (процедур).

VR-реабилитацию проводили с применением аппаратно-программного комплекса (АПК) «Девирта-Делфи» (полуиммерсивный тип погружения). В процессе лечения использовались следующие специализированные игровые сценарии: «Поглаживание дельфина» (одной рукой); «Поглаживание двух дельфинов» (двумя руками одновременно); «Составление имени» (выбор букв из предложенного набора); «Игра с дельфином в мяч»; «Игра с дельфином с обручем»; «Плавание вслед за дельфином»; «Серфинг» (маневрирование с уклонением от препятствий).

Длительность одного сеанса на АПК составляла 30 минут. Этот временной

Таблица 1

Объем активных движений туловища и лучезапястных суставов пациентки Ф. в начале и в конце курса реабилитации

Table 1

Range of active movement of the trunk and wrist joints in patient F. at the start and at the end of rehabilitation

Этап обследования Examination stage	Туловище Trunk		Лучезапястный сустав / Wrist joint		
				правый / right	левый / left
В начале курса реабилитации At the start of rehabilitation	сгибание, ° flexion, °	20	сгибание, ° flexion, °	20	40
	разгибание, ° extension, °	15	разгибание, ° extension, °	10	30
	наклон вправо, ° tilt to the right, °	38	отведение, ° abduction, °	0	5
	наклон влево, ° tilt to the left, °	12	приведение, ° adduction, °	0	0
В конце курса реабилитации At the end of rehabilitation	сгибание, ° flexion, °	25	сгибание, ° flexion, °	30	50
	разгибание, ° extension, °	15	разгибание, ° extension, °	20	40
	наклон вправо, ° tilt to the right, °	40	отведение, ° abduction, °	10	20
	наклон влево, ° tilt to the left, °	40	приведение, ° adduction, °	10	20

Таблица 2

Амплитуда электрической активности мышц верхних конечностей пациентки Ф. при максимальном произвольном усилии в начале и в конце курса реабилитации

Table 2

Amplitude of the electrical activity of upper extremity muscles in patient F. with maximum voluntary effort at the start and at the end of rehabilitation

Этап обследования Examination stage	Мышцы / Muscles			
	двуглавая мышца плеча правой конечности biceps muscle of the right arm	двуглавая мышца плеча левой конечности biceps muscle of the left arm	поверхностный сгибатель пальцев правой кисти superficial flexor muscle of the fingers of the right hand	поверхностный сгибатель пальцев левой кисти superficial flexor muscle of the fingers of the left hand
Средняя амплитуда электрической активности, мкВ Average amplitude of electrical activity, microvolts				
В начале курса реабилитации At the start of rehabilitation	820	1088	75	0
В конце курса реабилитации At the end of rehabilitation	1552	1265	790	857
Максимальная амплитуда электрической активности, мкВ Maximum amplitude of electrical activity, microvolts				
В начале курса реабилитации At the start of rehabilitation	2817	5135	162	25.4
В конце курса реабилитации At the end of rehabilitation	8664	6208	1241	3662

интервал включал позиционирование пациентки перед экраном, стартовое и итоговое тестирование объема активных движений в суставах верхних конечностей и туловища, а также подведение итогов занятия. Непосредственно тренировочные упражнения пациентка выполняла циклами по 2 минуты с последующим 30-секундным отдыхом. Общая плотность занятия составила 100 %, моторная плотность — 57,5 %.

Пациентка Ф. выполняла задания на АПК в положении сидя в кресле-коляске с возможностью опоры на спинку и подлокотники. Расстояние от кресла-коляски до экрана составляло 3 метра, что обеспечивало оптимальный захват оптическими сенсорами системы всех сегментов тела пациентки, управляющей виртуальным аватаром с помощью движений туловища и верхних конечностей.

В ходе реабилитации пациентка демонстрировала высокую комплаент-

ность и мотивацию: активно интересовалась достигнутыми результатами, сравнивала их с показателями предыдущих сессий, а также постепенно увеличивала точность и амплитуду движений в суставах рук и туловища. Внешних признаков переутомления во время занятий не зафиксировано; жалоб на усталость или ухудшение общего самочувствия от пациентки не поступало. К 10-му дню тренировок количество правильно выполненных целевых действий в игровых сценариях увеличилось на 8,0 % по сравнению с исходным уровнем.

По окончании курса комплексной реабилитации пациентка отметила субъективное улучшение пострурального контроля в положении сидя и повышение общей мобильности. По объективным данным, уровень функциональной независимости пациентки в повседневной жизни значительно повысился — суммарный показатель увеличился на 11 баллов (см. табл. 3).

В результате проведенного курса реабилитации у пациентки зафиксировано значительное улучшение пострурального контроля в положении сидя. Об этом свидетельствует как способность к самостоятельному удержанию позы без дополнительной опоры в течение 30 секунд, так и увеличение амплитуды движений туловища. Кроме того, отмечен прирост объема активных движений в лучезапястных суставах (см. табл. 1).

К концу курса восстановительного лечения верифицировано повышение мышечной силы: в проксимальных отделах верхних конечностей (мышцы плеча) показатели увеличились до 4 баллов, в дистальных — до 2 баллов слева и до 1–2 баллов справа. Повторное ЭМГ-исследование продемонстрировало существенное увеличение средней и максимальной амплитуды интерференционной электрической активности исследуемых мышечных групп (см. табл. 2).

Таблица 3

Результаты диагностики пациентки Ф. по международным оценочным шкалам в начале и в конце курса реабилитации

Table 3

Results of diagnostics according to international assessment scales of patient F. at the beginning and at the end of the rehabilitation course

Шкала/опросник Scale/questionnaire		В начале курса реабилитации At the start of rehabilitation	В конце курса реабилитации At the end of rehabilitation
SCIM III, баллы / SCIM III, points		26	37
Френчай, баллы / Frenchay Activity Index, points		48	55
COPM, баллы	выполнение / performance	3	4
COPM, points	удовлетворенность / satisfaction	2	4

Примечание: SCIM III (Spinal Cord Independence Measure, version III) – Измеритель независимости при повреждениях спинного мозга, версия III; COPM (The Canadian Occupational Performance Measure) – Канадская оценка выполнения деятельности.

Note. SCIM III – Spinal Cord Independence Measure, version III; COPM – Canadian Occupational Performance Measure.

Пациентка стала увереннее передвигаться в кресле-коляске. В частности, она научилась без посторонней помощи преодолевать дверные проемы и пороги высотой до 5 см, что указывает на расширение ее мобильности. Критерием успешной социально-бытовой адаптации стало то, что к моменту выписки женщина полностью освоила навыки самостоятельного открывания и закрывания шкафов, а также гигиенический уход (мытье тела) и посещение туалета.

Количественно указанные изменения выразились в увеличении показателей по модифицированному тесту руки Френчай на 7 баллов (см. табл. 3). По шкале COPM (в приоритетном разделе «мытье тела») оценка за выполнение деятельности выросла на 1 балл, а уровень удовлетворенности результатом – на 2 балла.

ОБСУЖДЕНИЕ

В последние годы в отечественной и зарубежной литературе появилось множество публикаций, посвященных интеграции VR-технологий в программы реабилитации пациентов с повреждением спинного мозга. Тем не менее клиническая эффективность VR для данного контингента больных все еще остается предметом дискуссий и требует дальнейшего детального изучения [13].

В настоящей работе представлены результаты успешного применения полуиммерсивных VR-технологий в качестве компонента персонализированной программы медицинской реабилитации пациентки в позднем периоде ТБСМ с синдромом частичного нарушения проводимости спинного

мозга на уровне шейного утолщения (C6). Исходно основные проблемы пациентки были связаны с дефицитом постурального контроля в положении сидя, ограничениями при самостоятельном передвижении в кресле-коляске и трудностями при выполнении повседневных задач, среди которых гигиенический уход (мытье тела) являлся наиболее значимым по шкале COPM. Направленная коррекция данных нарушений и легла в основу целей реабилитационного курса. Для их достижения требовалось улучшить биомеханику позы сидя, увеличить амплитуду движений в лучезапястных суставах, а также повысить силу мышц туловища и верхних конечностей. В период госпитализации решение этих задач осуществлялось путем синергетического сочетания классических методов лечебной физкультуры и инновационных интерактивных тренировок.

Занятия на АПК «Девирта-Делфи» воспринимались пациенткой как увлекательный игровой процесс, что обеспечило высокую мотивацию и приверженность к лечению. В результате к концу курса восстановительного лечения было достигнуто значимое увеличение амплитуды движений в суставах, а также зафиксировано повышение уровня общей мобильности и независимости.

Полученные нами данные демонстрируют, что включение VR-технологий в комплексную реабилитацию пациентов с тетраплегией способствует эффективному восстановлению мануальных функций и росту показателей функциональной независимости. Это согласуется с результатами исследо-

вания D.Y. Lim и соавт. [14]. Наше заключение о потенциальной пользе VR-вмешательств в качестве адъювантной (дополнительной) терапии к стандартным протоколам – в частности, для восстановления постурального баланса у пациентов с ТБСМ – подтверждают и другие авторы [15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Включение полуиммерсивных VR-технологий в программу комплексной медицинской реабилитации пациентки в позднем периоде ТБСМ способствовало совершенствованию постурального контроля в положении сидя, увеличению амплитуды движений в лучезапястных суставах, а также повышению силы и электрической активности мышц верхних конечностей. Улучшение указанных параметров привело к значимому росту мобильности и уровня независимости пациентки в повседневной жизни.

Описанное клиническое наблюдение подтверждает целесообразность применения VR-технологий в качестве эффективного инструмента для активизации двигательной сферы и повышения потенциала социально-бытовой адаптации пациентов с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы в позднем периоде заболевания.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Lu Y, Shang Z, Zhang W, Hu X, Shen R, Zhang K, et al. Global, regional, and national burden of spinal cord injury from 1990 to 2021 and projections for 2050: a systematic analysis for the Global Burden of Disease 2021 study. *Ageing Res Rev.* 2025;103:102598. DOI: 10.1016/j.arr.2024.102598.
2. Spota A, Giorgi PD, Cioffi SPB, Altomare M, Schirò GR, Legrenzi S, et al. Spinal injury in major trauma: epidemiology of 1104 cases from an Italian first level trauma center. *Injury.* 2023;54(4):1144-1150. DOI: 10.1016/j.injury.2023.02.039.
3. Wang B, Yang X, Li C, Yang R, Sun T, Yin Y. The shared molecular mechanism of spinal cord injury and sarcopenia: a comprehensive genomics analysis. *Front Neurol.* 2024;15:1373605. DOI: 10.3389/fneur.2024.1373605.
4. Martin JH. Neuroplasticity of spinal cord injury and repair. Review. *Handb Clin Neurol.* 2022; 184: 317-330. DOI:10.1016/B978-0-12-819410-2.00017-5.
5. Mensah EO, Chalif JI, Johnston BR, Chalif E, Parker T, Izzy S, et al. Traumatic spinal cord injury: a review of the current state of art and future directions - what do we know and where are we going? *N Am Spine Soc J.* 2025;22:100601. DOI: 10.1016/j.xnsj.2025.100601.
6. Montoto-Marqués A, Benito-Penalva J, Ferreiro-Velasco ME, Andrew Wright M, Salvador-De la Barrera S, Kumru H, et al. Advances and new therapies in traumatic spinal cord injury. *J Clin Med.* 2025;14(7):2203. DOI: 10.3390/jcm14072203.
7. Tian T, Zhang S, Yang M. Recent progress and challenges in the treatment of spinal cord injury review. *Protein Cell.* 2023; 14(9): 635-652. DOI: 10.1093/procel/pwad003.
8. Nair MS, Kulkarni VN, Shyam AK. Combined effect of virtual reality training (VRT) and conventional therapy on sitting balance in patients with spinal cord injury (SCI): randomized control trial. *Neurol India.* 2022; 70(Supplement): S245-S250. DOI:10.4103/0028-3886.360934.
9. Hao J, Xie H, Harp K, Chen Z, Siu KC. Effects of virtual reality intervention on neural plasticity in stroke rehabilitation: a systematic review. *Arch Phys Med Rehabil.* 2022;103(3):523-541. DOI: 10.1016/j.apmr.2021.06.024.
10. Soleimani M, Ghazisaeedi M, Heydari S. The efficacy of virtual reality for upper limb rehabilitation in stroke patients: a systematic review and meta-analysis. *BMC Med Inform Decis Mak.* 2024; 24(1): 135. DOI:10.1186/s12911-024-02534-y.
11. Wang L, Zhang H, Ai H, Liu Y. Effects of virtual reality rehabilitation after spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis. *J Neuroeng Rehabil.* 2024; 21(1): 191. DOI:10.1186/s12984-024-01492-w.
12. Scalise M, Bora TS, Zancanella C, Safa A, Stefani R, Cannizzaro D. Virtual reality as a therapeutic tool in spinal cord injury rehabilitation: a comprehensive evaluation and systematic review. *J Clin Med.* 2024;13(18):5429. DOI: 10.3390/jcm13185429.
13. Wang L, Zhang H, Ai H, Liu Y. Effects of virtual reality rehabilitation after spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis. *J Neuroeng Rehabil.* 2024; 21(1): 191. DOI:10.1186/s12984-024-01492-w.
14. Lim DY, Hwang DM, Cho KH, Moon CW, Ahn SY. A fully immersive virtual reality method for upper limb rehabilitation in spinal cord injury. *Ann Rehabil Med.* 2020;44(4):311-319. DOI: 10.5535/arm.19181.
15. Miguel-Rubio A, Rubio MD, Salazar A, Moral-Munoz JA, Requena F, Camacho R, et al. Is virtual reality effective for balance recovery in patients with spinal cord injury? A systematic review and meta-analysis. *J Clin Med.* 2020; 9(9):2861. DOI: 10.3390/jcm9092861.

Сведения об авторах:

Коновалова Нина Геннадьевна (автор для переписки) — д.м.н., ведущий научный сотрудник отдела медицинской и социально-профессиональной реабилитации Научного центра ФГБУ ННПЦ МСЭ и РИ Минтруда России; ул. Малая, д. 7, г. Новокузнецк, Россия, 654055. E-mail: root@reabil-nk.ru; konovalovang@yandex.ru

Хохлова Ольга Ивановна — д.м.н., ведущий научный сотрудник отдела медицинской и социально-профессиональной реабилитации Научного центра ФГБУ ННПЦ МСЭ и РИ Минтруда России; ул. Малая, д. 7, г. Новокузнецк, Россия, 654055.

Васильченко Елена Михайловна — д.м.н., доцент, главный научный сотрудник отдела медицинской и социально-профессиональной реабилитации Научного центра ФГБУ ННПЦ МСЭ и РИ Минтруда России; ул. Малая, д. 7, г. Новокузнецк, Россия, 654055.

Статья поступила в редакцию 03.04.2026

Рецензирование пройдено 04.05.2026

Подписано в печать 31.07.2026

Information about authors:

Konovallva Nina Gennadyevna (author for correspondence) — MD, PhD, leading researcher at department of medical and socio-professional rehabilitation, Scientific Center of Novokuznetsk Scientific and Practical Center for Medical-Social Expertise and Rehabilitation of Persons with Disabilities, 7 Malaya St., Novokuznetsk, Russia, 654055. E-mail: root@reabil-nk.ru; konovalovang@yandex.ru

Khokhlova Olga Ivanovna — MD, PhD, leading researcher at department of medical and socio-professional rehabilitation, Scientific Center of Novokuznetsk Scientific and Practical Center for Medical-Social Expertise and Rehabilitation of Persons with Disabilities, 7 Malaya St., Novokuznetsk, Russia, 654055.

Vasilchenko Elena Mikhailovna — MD, PhD, associate professor, department of medical and socio-professional rehabilitation, Scientific Center of Novokuznetsk Scientific and Practical Center for Medical-Social Expertise and Rehabilitation of Persons with Disabilities, 7 Malaya St., Novokuznetsk, Russia, 654055.

Received 03.04.2026

Review completed 04.05.2026

Passed for printing 31.07.2026

МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРНО-ВЗРЫВНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА И НЕЙРОВОСПАЛИТЕЛЬНЫЕ МАРКЕРЫ ДЛЯ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОЙ ЭНЦЕФАЛОПАТИИ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

MODELING OF BLAST-INDUCED BRAIN INJURY AND NEUROINFLAMMATORY MARKERS FOR THE EARLY DIAGNOSIS OF POST-TRAUMATIC ENCEPHALOPATHY: AN EXPERIMENTAL STUDY

Ал Лабед А.
Ереско С.О.
Воейков А.И.
Айрапетов М.И.
Шабанов П.Д.

Al Labeled A.
Eresko S.O.
Voeikov A.I.
Airapetov M.I.
Shabanov P.D.

ФГБНУ «Институт экспериментальной медицины»,
ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия
имени С.М. Кирова» Минобороны России,
г. Санкт-Петербург, Россия

Institute of Experimental Medicine,
S.M. Kirov Military Medical Academy,
St. Petersburg, Russia

Черепно-мозговые травмы, вызванные ударной воздушной волной (УВВ), составляют до 22 % боевых потерь и ассоциированы с развитием посттравматической энцефалопатии (ПТЭ). Отсутствие стандартизированных моделей с задокументированными параметрами волны препятствует верификации биомаркерных панелей как в лабораторных, так и в клинических условиях.

Цель исследования — верификация оригинальной пневматической установки с геометрически стандартизированной камерой и оценка динамики поведенческих, гематологических и молекулярных показателей нейровоспаления (*Il1b*, *Il6*, *Ccl2*, *Hmgb1* в гиппокампе) на 2-е и 7-е сутки после воздействия УВВ.

Материалы и методы. В исследование включены 43 самца крыс линии Wistar, разделенные на три группы: интактную ($n = 7$), контрольную ($n = 16$) и опытную ($n = 20$). Воздействие УВВ моделировали с помощью оригинальной пневматической установки, представляющей собой цилиндрическую камеру из стали Ст3 (внутренний диаметр — 200 мм, длина — 500 мм, объем — 15,7 л, толщина стенки — 3 мм, болтовое соединение М8 по DIN 933/934 с уплотнительной прокладкой); источником давления служили строительные патроны Hilti D4. Параметры волны регистрировали пьезоэлектрическим датчиком: пиковое избыточное давление составило 125 ± 8 кПа, длительность положительной фазы — $4,2 \pm 0,3$ мс, импульс — 262 ± 18 кПа·мс. Неврологический дефицит оценивали по шкале НПД (0–14 баллов) непосредственно после воздействия. На 2-е и 7-е сутки выполняли тест «Открытое поле» (EthoVision XT v.16), клинический анализ крови и ПЦР в реальном времени ($2^{-\Delta\Delta CT}$, референсные гены *Gapdh*, эффективность 92–103 %, $RIN > 8,2$). Статистический анализ: однофакторный дисперсионный анализ (one-way ANOVA) с апостериорным критерием Тьюки, для попарного сравнения групп — критерий Уэлча. Данные представлены в виде медианы и межквартильного размаха

Traumatic brain injuries caused by blast waves account for up to 22 % of combat casualties and are associated with the development of post-traumatic encephalopathy (PTE). The lack of standardized models with documented wave parameters hinders the validation of biomarker panels in both laboratory and clinical settings.

Objective — to validate a novel pneumatic setup featuring a geometrically standardized chamber and to evaluate the dynamics of behavioral, hematological, and molecular markers of neuroinflammation (*Il1b*, *Il6*, *Ccl2*, and *Hmgb1* in the hippocampus) at 2 and 7 days following exposure to an underwater shock wave.

Materials and methods. The study included 43 male Wistar rats divided into three groups: intact ($n = 7$), control ($n = 16$), and experimental ($n = 20$). Exposure to an underwater shock wave (USW) was simulated using a custom-designed pneumatic apparatus consisting of a cylindrical chamber made of St3 steel (inner diameter: 200 mm; length: 500 mm; volume: 15.7 L; wall thickness: 3 mm; M8 bolted connection per DIN 933/934 with a sealing gasket); Hilti D4 construction cartridges served as the pressure source. Wave parameters were recorded using a piezoelectric sensor: peak overpressure was 125 ± 8 kPa, positive phase duration was 4.2 ± 0.3 ms, and impulse was 262 ± 18 kPa·ms. Neurological deficit was assessed using the NPD scale (0–14 points) immediately after exposure. On days 2 and 7, the "Open Field" test (EthoVision XT v.16), clinical blood analysis, and real-time PCR ($2^{-\Delta\Delta CT}$; reference genes *Gapdh*; efficiency 92–103%; $RIN > 8.2$) were performed. Statistical analysis involved one-way ANOVA with Tukey's post-hoc test; Welch's test was used for pairwise group comparisons. Data are presented as median and interquartile range (Me [Q1; Q3]; effect sizes (r) and 95% confidence intervals — 95% CI (bootstrap, 5000 iterations) were calculated; the

Для цитирования: Ал Лабед А., Ереско С.О., Воейков А.И., Айрапетов М.И., Шабанов П.Д. МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРНО-ВЗРЫВНОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА И НЕЙРОВОСПАЛИТЕЛЬНЫЕ МАРКЕРЫ ДЛЯ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОЙ ЭНЦЕФАЛОПАТИИ: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ // ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2026. № 3. С. 98–107.

Режим доступа: <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/718>

DOI: 10.24412/1819-1495-2026-3-98-107

(Me [Q1; Q3]), рассчитаны размеры эффекта (r) и 95% доверительные интервалы — 95% ДИ (бутстреп, 5000 итераций); критический уровень значимости $p < 0,05$. Исследование выполнено в соответствии с рекомендациями ARRIVE 2.0.

Результаты. Непосредственно после воздействия УВВ балл по шкале НПД в опытной группе значимо превышал показатели контроля и интактных животных ($9,7 \pm 1,0$ против $6,5 \pm 0,7$ и $0,8 \pm 0,1$ соответственно; $H = 31,4$; $p < 0,001$; $r = 0,86$ [95% ДИ: 0,78–0,92]). В тесте «Открытое поле» на 2-е сутки у опытных крыс зарегистрировано снижение общей двигательной активности (Me = 42 [30; 50] с против 55 [50; 60] с в интактной группе; $p = 0,023$; $r = 0,42$ [95% ДИ: 0,15–0,65]). К 7-м суткам выявлены гиперактивность (Me = 75 [30; 90] с; $p = 0,005$; $r = 0,68$ [95% ДИ: 0,41–0,85]) и нарастание тревожности (Me = 50 [30; 85] с; $p = 0,011$; $r = 0,59$ [95% ДИ: 0,28–0,79]); исследовательское поведение достоверно не изменялось.

На 2-е сутки отмечено снижение количества эритроцитов ($9,76 \pm 0,53 \times 10^{12}/л$ против $11,31 \pm 1,19 \times 10^{12}/л$ в контроле; $t = 3,168$; $p = 0,013$) и гематокрита ($33,57 \pm 1,15\%$ против $38,47 \pm 4,50\%$; $t = 2,792$; $p = 0,028$) при одновременном повышении содержания лимфоцитов ($8,21 \pm 1,03 \times 10^9/л$ против $4,19 \pm 1,83 \times 10^9/л$; $t = 5,074$; $p = 0,0006$) и моноцитов ($0,44 \pm 0,05 \times 10^9/л$ против $0,24 \pm 0,04 \times 10^9/л$; $t = 8,948$; $p < 0,0001$; $\eta^2 = 0,877$).

В гиппокампе на 2-е сутки зафиксировано снижение уровня мРНК *Il6* (в $\sim 2,0$ раза). К 7-м суткам выявлено статистически значимое повышение экспрессии всех четырех исследуемых генов: *Il1b* — в $\sim 2,2$ раза ($F_{3,26} = 69,73$; $\eta^2 > 0,9$), *Hmgb1* — в $\sim 2,6$ раза ($F_{3,24} = 12,44$; $\eta^2 = 0,609$), *Ccl2* — в $\sim 3,4$ раза ($F_{3,24} = 4,27$; $p = 0,015$), *Il6* — в $\sim 2,3$ раза ($F_{3,26} = 10,65$; $p < 0,0001$).

Заключение. Разработанная установка с документированными геометрическими и физическими параметрами позволяет воспроизводить биологически значимую двухфазную нейровоспалительную реакцию с пиком на 7-е сутки. Панель транскриптов *Il1b/Il6/Ccl2/Hmgb1* перспективна для ранней диагностики ПТЭ, а пик их экспрессии на 7-е сутки является оптимальной временной точкой для оценки эффективности нейропротекции в последующих исследованиях.

Ключевые слова: ударная воздушная волна; посттравматическая энцефалопатия; нейровоспаление; гиппокамп; биомаркеры; пневматическая камера; ARRIVE 2.0

critical significance level was set at $p < 0.05$. The study was conducted in accordance with the ARRIVE 2.0 guidelines.

Results. Immediately after exposure to the shock wave, the score on the neurological deficit scale in the experimental group was significantly higher than in the control and intact groups (9.7 ± 1.0 vs. 6.5 ± 0.7 and 0.8 ± 0.1 , respectively; $H = 31.4$; $p < 0.001$; $r = 0.86$ [95% CI: 0.78–0.92]). In the open-field test, a decrease in total locomotor activity was recorded in the experimental rats on day 2 (Me = 42 [30; 50] s vs. 55 [50; 60] s in the intact group; $p = 0.023$; $r = 0.42$ [95% CI: 0.15–0.65]). By day 7, hyperactivity (Me = 75 [30; 90] s; $p = 0.005$; $r = 0.68$ [95% CI: 0.41–0.85]) and increased anxiety (Me = 50 [30; 85] s; $p = 0.011$; $r = 0.59$ [95% CI: 0.28–0.79]) were observed. Exploratory behavior did not change significantly. On day 2, a decrease was observed in the erythrocyte count ($9.76 \pm 0.53 \times 10^{12}/L$ vs. $11.31 \pm 1.19 \times 10^{12}/L$ in the control; $t = 3.168$; $p = 0.013$) and hematocrit ($33.57 \pm 1.15\%$ vs. $38.47 \pm 4.50\%$; $t = 2.792$; $p = 0.028$), accompanied by an increase in lymphocyte ($8.21 \pm 1.03 \times 10^9/L$ vs. $4.19 \pm 1.83 \times 10^9/L$; $t = 5.074$; $p = 0.0006$) and monocyte ($0.44 \pm 0.05 \times 10^9/L$ vs. $0.24 \pm 0.04 \times 10^9/L$; $t = 8.948$; $p < 0.0001$; $\eta^2 = 0.877$) counts.

In the hippocampus, a decrease in *Il6* mRNA levels (by ~ 2.0 -fold) was recorded on day 2. By day 7, a statistically significant increase in the expression of all four genes under study was observed: *Il1b* — by ~ 2.2 -fold ($F_{3,26} = 69.73$; $\eta^2 > 0.9$), *Hmgb1* — by ~ 2.6 -fold ($F_{3,24} = 12.44$; $\eta^2 = 0.609$), *Ccl2* — by ~ 3.4 -fold ($F_{3,24} = 4.27$; $p = 0.015$), and *Il6* — by ~ 2.3 -fold ($F_{3,26} = 10.65$; $p < 0.0001$).

Conclusion. The developed setup, with documented geometric and physical parameters, enables the reproduction of a biologically significant biphasic neuroinflammatory response peaking on day 7. The *Il1b/Il6/Ccl2/Hmgb1* transcript panel shows promise for the early diagnosis of post-traumatic encephalopathy (PTE), and the peak of their expression on day 7 represents the optimal time point for evaluating neuroprotection efficacy in future studies.

Keywords: air blast wave; post-traumatic encephalopathy; neuroinflammation; hippocampus; biomarkers; pneumatic chamber; ARRIVE 2.0

В структуре санитарных потерь временных конфликтов на долю черепно-мозговых травм (ЧМТ), вызванных действием ударной воздушной волны (УВВ), приходится от 20 до 60 % случаев. При этом у большинства пострадавших отсутствуют видимые ранения, что делает патологию практически «невидимой» для стандартных алгоритмов медицинской сортировки [1, 2]. В общей структуре боевых потерь на данную травму приходится до 22 %. Из-за отсутствия внешних повреждений легкие и среднетяжелые формы ЧМТ нередко остаются без активной верификации [3].

Однако даже одиночный эпизод взрывного воздействия способен запустить стойкое хроническое нейровоспаление. Спустя месяцы или годы оно клинически манифестирует в виде посттравматической энцефалопатии

(ПТЭ), которая проявляется когнитивным дефицитом, выраженной тревогой и двигательными нарушениями [4, 5]. До недавнего времени окончательное подтверждение ПТЭ было возможно преимущественно посмертно — путем выявления патологических отложений гиперфосфорилированного тау-белка в ткани мозга [5, 6].

В последние пять лет вектор исследований сместился в сторону прижизненной лабораторной диагностики. Высокую чувствительность в когортах ветеранов с легкой ЧМТ продемонстрировали панели молекулярных биомаркеров: фосфорилированный тау-217 (p-tau217); легкие цепи нейрофиламентов (NfL); глиальный фибриллярный кислый белок (GFAP); экзосомальные формы белка HMGB1 [7–9]. Тем не менее клиническая валидация этих маркеров невозможна без каче-

ственных экспериментальных моделей. Они требуют строгого контроля параметров взрывной волны, воспроизводимой геометрии ударной камеры и проведения многоуровневого молекулярного анализа [10].

Ключевым молекулярным механизмом патогенеза ПТЭ выступает нейровоспаление, сопровождающееся фазовой активацией микроглии (переходом от гомеостатического к ассоциированному с заболеванием фенотипу, DAM) и астроцитарной реактивностью [7]. Среди ключевых медиаторов этого процесса наиболее изучены четыре молекулы: IL-1 β (продукт активации инфламасомы NLRP3); HMGB1 (DAMP-молекула, активирующая сигнальные пути TLR4/RAGE); CCL2 (хемоаттрактант, обеспечивающий приток периферических моноцитов); IL-6, двухфазная кинетика

которого при нейротравме обладает высокой информативностью в качестве диагностического маркера [7, 8]. Перечисленные соединения рассматриваются как перспективные биомаркеры ранних стадий ПТЭ. Однако их трансляционная верификация существенно ограничена дефицитом экономически доступных и стандартизированных установок для моделирования УВВ, которые сочетали бы полное описание физических параметров волны с жестким соответствием современным принципам воспроизводимости научных исследований (ARRIVE 2.0, NIH SABV) [11].

Научная новизна настоящего исследования заключается в следующем:

- Разработана и верифицирована оригинальная пневматическая установка с цилиндрической камерой стандартизированной геометрии (объем 15,7 л, сталь Ст3, болтовое соединение по DIN), обеспечивающая строго воспроизводимую генерацию УВВ с прецизионной регистрацией пикового давления, импульса и длительности фаз волны.

- Впервые обнаружена двухфазная динамика экспрессии транскриптов *Il1b*, *Il6*, *Ccl2* и *Hmgb1* в гиппокампе с манифестацией «пика» нейровоспаления на 7-е сутки, что позволяет четко определить оптимальное терапевтическое и диагностическое окно.

- Проведена комплексная многоуровневая валидация модели по цепочке «неврологический дефицит → поведенческий фенотип → системный воспалительный ответ → локальная молекулярная экспрессия», полностью отвечающая международным стандартам трансляционной нейротравматологии.

Цель исследования — верификация оригинальной пневматической установки с геометрически стандартизированной камерой и оценка динамики поведенческих, гематологических и молекулярных показателей нейровоспаления (*Il1b*, *Il6*, *Ccl2*, *Hmgb1* в гиппокампе) на 2-е и 7-е сутки после воздействия УВВ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Животные и формирование групп

В работу включены 43 взрослых самца крыс линии Wistar (масса — 220–300 г, возраст — 10–12 недель). Выбор животных мужского пола обусловлен струк-

турой реальных боевых санитарных потерь (преобладание лиц мужского пола среди военнослужащих), а также необходимостью минимизации межгрупповой вариабельности данных на пилотном этапе исследования. В соответствии с политикой NIH «Sex as a Biological Variable» (SABV), валидация разработанной модели на самках запланирована в рамках следующей серии экспериментов.

Рандомизацию животных по группам осуществляли методом блочной генерации случайных чисел с помощью модуля GraphPad Randomization Module. Сформированы три группы: интактная группа ($n = 7$) — животные не подвергались никаким манипуляциям; контрольная группа ($n = 16$) — животные подвергались только анестезии (без воздействия УВВ); опытная группа ($n = 20$) — животные подвергались однократному воздействию УВВ на фоне анестезии.

Поведенческое тестирование выполняли в полном объеме для всех животных, вошедших в группы. Гематологический и молекулярно-генетический (RT-qPCR) анализы проводили на случайно отобранных подвыборках — по $n = 7$ особей на группу для каждой временной точки. Данный объем выборки обеспечивает необходимый уровень статистической мощности и оптимальное число степеней свободы для проведения дисперсионного анализа (ANOVA).

Животных содержали в стандартных условиях вивария: температура — $22 \pm 2^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха — $55 \pm 10\%$, инвертированный световой режим — 12/12 ч (свет/темнота). Крысы имели свободный доступ к воде и стандартному гранулированному корму.

Все манипуляции и оперативные вмешательства одобрены Биоэтическим комитетом ФГБНУ «Институт экспериментальной медицины» (протокол № 2/26 от 19.03.2026). Дизайн и проведение эксперимента полностью соответствуют положениям Директивы 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях, а также актуальным рекомендациям руководства ARRIVE 2.0. Сбор, регистрацию и статистический анализ поведенческих и молекулярных данных выполняли в строго ослепленном режиме (blinded study).

Конструкция экспериментальной установки и моделирование ударной воздушной волны

Моделирование взрывного воздействия осуществляли с помощью оригинальной установки, разработанной и апробированной в ФГБНУ «Институт экспериментальной медицины». Конструктивно установка включает источник высокого давления, расширительную цилиндрическую камеру и фиксирующий отсек с удерживающим ремешком. В качестве источника давления использовали пороховой монтажный пистолет по бетону, управляемый индустриальными патронами калибра D4 (Hilti, Лихтенштейн). Применение монтажного инструмента для генерации ударных волн в биологических экспериментах базируется на модификации ранее описанных отечественных методик [14].

Расширительная цилиндрическая камера объемом 15,7 л изготовлена из листовой конструкционной углеродистой стали марки Ст3 с толщиной стенки 3 мм. Геометрические параметры рабочей зоны составляют 500 мм в длину при внутреннем диаметре цилиндра 200 мм. Сборка и герметизация элементов конструкции обеспечиваются фланцевым болтовым соединением М8×20 (DIN 933) с использованием шайб М8 (DIN 125), гаек М8 (DIN 934) и специализированной уплотнительной прокладки из листовой маслобензостойкой резины. Вся конструкция смонтирована на жесткой рамной оппорной раме, снабженной интегрированным фиксирующим узлом для стабилизации установки в момент выстрела. Общая схема установки представлена на рисунке.

Для верификации физических параметров генерируемой УВВ применяли высокочастотный пьезоэлектрический датчик давления (частота дискретизации — 500 кГц), предварительно калиброванный по эталонному манометру. В точке размещения биомодели зарегистрированы следующие усредненные значения параметров волны: пиковое избыточное давление — 125 ± 8 кПа, длительность положительной фазы — $4,2 \pm 0,3$ мс, импульс фазы сжатия — 262 ± 18 кПа · мс.

Перед процедурой животных вводили в наркоз путем внутрибрюшинного введения хлоралгидрата в дозе 300 мг/кг. На протяжении всего периода седации осуществляли непрерывный

мониторинг роговичного рефлекса и рефлекса отдергивания конечности, а температуру тела поддерживали на уровне $37 \pm 0,5^\circ\text{C}$ с помощью термометрического коврика с обратной связью.

Наркотизированных крыс фиксировали на платформе горизонтально, ориентируя голову по направлению к камере на расстоянии 15 см от среза сопла. Данная конфигурация соответствует физической модели «открытого поля» (open site model), минимизирующей наложение отраженных волн и исключающей сопутствующий жесткий импактный компонент.

Оценка неврологического дефицита

Непосредственно после воздействия УВВ у животных определяли суммарный балл по модифицированной шкале неврологического дефицита (НПД, диапазон: 0–14 баллов). Протокол тестирования включал оценку следующих параметров: рефлекс сгибания конечностей при подъеме за хвост (0–3 балла); тактильный рефлекс размещения по вибриссам (0–3 балла); зрительный рефлекс размещения (0–4 балла); хватательный рефлекс задних конечностей (0–2 балла); реакция

на звуковой раздражитель (0–1 балл); время восстановления естественной позы (righting reflex, 0–1 балл).

Оценку выраженности дефицита проводили два независимых исследователя в строго ослепленном режиме. В случае расхождения экспертных оценок более чем на 1 балл выполняли консенсусную переоценку видеозаписи. Межэкспертная надежность по результатам тестирования оказалась высокой и составила k Коэна = 0,89.

Тест «Открытое поле»

Поведенческое тестирование выполняли на 2-е и 7-е сутки после моделирования травмы. Эксперименты проводили в вечернее время (с 17:00 до 22:00) в условиях стандартной освещенности арены (150 люкс) и контролируемой шумоизоляции.

Установка представляла собой круглую арену диаметром 120 см с высотой стенок 40 см, полезная площадь которой была разделена на центральную зону (диаметр 40 см) и периферическое кольцо. Продолжительность одной тестовой сессии составляла 3 мин. Перед каждым тестированием арену тщательно обрабатывали 70% раствором этанола для удаления запаховых следов.

С использованием программного комплекса автоматизированного видеотрекинга EthoVision XT v.16 (Noldus, Нидерланды) регистрировали следующие показатели: общая двигательная активность: суммарное время локомоции (движения), с; уровень тревожности: время, проведенное в центральной зоне арены, с; исследовательская активность и эмоциональный статус: количество вертикальных стоек, актов груминга и эпизодов замирания (freezing).

Корректность автоматического трекинга дополнительно верифицировали путем выборочного ручного кадрового анализа 10% от общего объема видеозаписей.

Клинический анализ крови

На 2-е сутки после взрывного воздействия у животных производили забор образцов цельной крови объемом 0,5–1,0 мл из подъязычной вены (*v. sublingualis*) в микропробирки с КЗ-ЭДТА в качестве антикоагулянта. Гематологический анализ выполняли на автоматическом ветеринарном анализаторе Mindray BC-2800 Vet (Mindray, Китай). В рамках исследования определяли следующие показатели: общее

Рисунок

Схема экспериментальной установки для моделирования ударно-взрывного повреждения головного мозга.

Пневматический монтажный пистолет с патронами Hilti D4 (источник давления) соединен с цилиндрической расширительной камерой из стали Ст3 (внутренний диаметр — 200 мм, длина — 500 мм, объем — 15,7 л, толщина стенки — 3 мм, болтовое соединение М8 по DIN 933/934). Параметры волны регистрировали калиброванным пьезоэлектрическим датчиком (частота дискретизации 500 кГц): пиковое избыточное давление — 125 ± 8 кПа, длительность положительной фазы — $4,2 \pm 0,3$ мс, импульс — 262 ± 18 кПа·мс. Животное фиксировали горизонтально головой к соплу на расстоянии 15 см от него; анестезия — хлоралгидрат 300 мг/кг, внутривенно

Figure

Diagram of the experimental setup for modeling blast-induced brain injury. A pneumatic nail gun using Hilti D4 cartridges (pressure source) is connected to a cylindrical expansion chamber made of St3 steel (inner diameter: 200 mm; length: 500 mm; volume: 15.7 L; wall thickness: 3 mm; M8 bolted connection per DIN 933/934). Wave parameters were recorded using a calibrated piezoelectric sensor (sampling rate: 500 kHz): peak overpressure — 125 ± 8 kPa; positive phase duration — 4.2 ± 0.3 ms; impulse — 262 ± 18 kPa·ms. The animal was secured in a horizontal position with its head facing the nozzle at a distance of 15 cm; anesthesia: chloral hydrate (300 mg/kg, intraperitoneal)



количество лейкоцитов ($\times 10^9/\text{л}$) и их дифференцированный профиль — относительное содержание лимфоцитов (%), моноцитов (%) и гранулоцитов (%); общее количество эритроцитов ($\times 10^{12}/\text{л}$); концентрацию гемоглобина (г/л); гематокрит (%); количество тромбоцитов ($\times 10^9/\text{л}$).

Полимеразная цепная реакция в реальном времени

Для молекулярно-генетического анализа гиппокамп выделяли на 2-е и 7-е сутки после моделирования травмы в соответствии с анатомическими координатами атласа Paxinos & Watson [13]. Образцы ткани мгновенно замораживали в жидком азоте и хранили в низкотемпературном морозильнике при температуре -80°C .

Выделение суммарной РНК осуществляли с использованием реагента ExtractRNA (Евроген, Россия) согласно протоколу производителя. Чистоту и концентрацию полученных изолятов оценивали спектрофотометрически (соотношение поглощения $A_{260}/A_{280} = 1,9\text{--}2,1$), а целостность РНК подтверждали методом капиллярного электрофореза на приборе Bioanalyzer 2100 (Agilent, США); к дальнейшему анализу допускали образцы с индексом целостности $RIN > 8,0$.

Реакцию обратной транскрипции проводили с использованием коммерческого набора MMLV RT kit (Евроген, Россия), содержащего смесь олиго(dT) и случайных (random) гексамерных праймеров. Полимеразную цепную

реакцию (ПЦР) в реальном времени (qPCR) выполняли на амплификаторе CFX96 Touch (Bio-Rad, США) с применением готовой мастер-миксы с интеркалирующим красителем SYBR Green MIX (Евроген, Россия).

Специфические олигонуклеотидные праймеры подбирали в программе Primer-BLAST (NCBI). Последовательности праймеров, длины целевых ампликонов и значения эффективности амплификации ($E = 92\text{--}103\%$, рассчитанные по калибровочной кривой из серийных разведений кДНК) приведены в таблице 1. В качестве референсных генов использовали *Gapdh*, стабильность экспрессии которых в данных экспериментальных условиях была верифицирована с помощью алгоритма geNorm (параметр стабильности $M < 0,5$). Расчет относительного уровня экспрессии целевых генов (*Il1 β* , *Il6*, *Ccl2*, *Hmgb1*) проводили методом $2^{-\Delta\Delta CT}$ [12]. Для исключения контаминации и оценки воспроизводимости в каждую плату ПЦР включали контроли без обратной транскриптазы (–RT), безматричные контроли (NTC), а также межплатный калибровочный образец (пул РНК всех экспериментальных групп).

Статистический анализ данных

Статистическую обработку результатов выполняли с использованием программных пакетов GraphPad Prism v.10.6.1 и SPSS Statistics v.27.0. Соответствие распределения количественных признаков закону нормальности оце-

нивали с помощью критерия Шапиро – Уилка, равенство выборочных дисперсий — с помощью теста Левена. В зависимости от типа распределения данные представляли в виде: среднего арифметического и стандартного отклонения ($M \pm SD$) — при нормальном распределении; медианы и межквартильного интервала ($Me [Q1; Q3]$) — при распределении, отличном от нормального; среднего арифметического и стандартной ошибки среднего ($M \pm SEM$) — для полуколичественных балльных показателей шкалы НПД.

Для парных сравнений использовали t-критерий Стьюдента в модификации Уэлча (Welch's t-test) или U-критерий Манна – Уитни. При сравнении трех групп применяли однофакторный дисперсионный анализ (one-way ANOVA) с последующими попарными сравнениями методом Тьюки (Tukey's post-hoc test), либо непараметрический критерий Краскела – Уоллиса с апостериорным тестом Данна и поправкой Бонферрони на множественность сравнений. Величина эффекта (effect size) рассчитывалась как η^2 для параметрических тестов или как $r = Z/\sqrt{N}$ для непараметрических процедур. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимали равным $p < 0,05$. В тексте и на рисунках приведены фактические значения достигнутого уровня значимости.

Априорный расчет статистической мощности проводили в программе G*Power v.3.1. Для выявления эффекта средней величины ($f = 0,4$) при задан-

Таблица 1
Нуклеотидные последовательности праймеров, используемых для проведения RT-qPCR

Ген Gene	Праймер прямой (5'→3') Forward Primer (5'→3')	Обратный праймер (5'→3') Reverse Primer (5'→3')	Размер ампликона, п. н. Amplicon size, bp	Эффективность (E), % Amplification Efficiency (E), %
<i>Il1b</i>	GCCCATCCTCTGTGACTCAT	AGGCCACAGGTATTTGTCTG	119	97
<i>Il6</i>	TTCCATCCAGTTGCCTTCTTG	TTGGGAGTGGTATCCTCTGTG	144	95
<i>Ccl2</i>	GTTGGCTCAGCCAGATGCA	GCAGCAAGTTAAAGCCCTTGA	149	103
<i>Hmgb1</i>	GTGCAGCCCGATGAAAGAAGA	GCAGCAAGTTAAAGCCCTTGA	140	92
<i>Gapdh</i>	AAGAAGGTGGTGAAGCAGGC	TCCACCACCCTGTTGCTGTA	187	99

Примечание. Все последовательности олигонуклеотидов специфичны для *Rattus norvegicus* и подобраны с помощью инструмента NCBI Primer-BLAST. Специфичность праймеров верифицирована экспериментально и биоинформатически. Показатели эффективности амплификации (E) рассчитаны на основе построения стандартных калибровочных кривых по серийным разведениям кДНК; коэффициент детерминации для всех кривых составил $R^2 \geq 0,99$.

Note. All oligonucleotide sequences are specific to *Rattus norvegicus* and were designed using the NCBI Primer-BLAST tool. Primer specificity was verified both bioinformatically and experimentally. Amplification efficiency (E) values were calculated based on standard linear regression curves generated from serial cDNA dilutions; the coefficient of determination for all curves met the threshold of $R^2 \geq 0,99$.

ном уровне $\alpha = 0,05$ и мощности $1 - \beta = 0,80$ расчетный объем выборки составляет 8–10 особей на группу для каждой временной точки.

Текущий объем подвыборок $n = 7$ для молекулярно-генетического и гематологического анализов) рассматривается как пилотный этап исследования, результаты которого подлежат валидации в расширенной серии экспериментов. Графическое представление данных выполнено в виде диаграмм размаха типа «скрипка» с наложением индивидуальных значений (violin + dot plots). Соответствие протокола рекомендациям ARRIVE 2.0 верифицировано и зафиксировано в официальном чек-листе.

Соблюдение этических стандартов

Все экспериментальные процедуры на животных одобрены Биоэтическим комитетом ФГБНУ «Институт экспериментальной медицины» (протокол № 2/26 от 19.03.2026). Дизайн, условия содержания и протоколы манипуляций полностью соответствуют требованиям Директивы 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях, а также ключевым принципам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации. Планирование и выполнение работы осуществлялось в строгом соответствии с актуальным руководством ARRIVE 2.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка неврологического дефицита непосредственно после воздействия ударной воздушной волной

Непосредственно после взрывного воздействия у животных опытной группы суммарный балл по шкале НПД составил $9,7 \pm 1,0$, что статистически значимо превышало показатели контрольной ($6,5 \pm 0,7$) и интактной ($0,8 \pm 0,1$) групп ($N = 31,4$; $df = 2$; $p < 0,001$; размер эффекта $r = 0,86$ [95% ДИ: 0,78–0,92]).

У всех крыс опытной группы (100 %) сразу после моделирования травмы регистрировали полное отсутствие реакции на звуковые раздражители, выраженное угнетение рефлекторного тонуса конечностей и значительное увеличение времени восстановления естественной позы (righting reflex). Жи-

вотные контрольной группы также демонстрировали достоверное увеличение балла НПД относительно интактного контроля (6,5 против 0,8; $p < 0,001$), что отражает изолированный вклад анестезии в неврологический статус. При этом различие между опытной и контрольной группами (9,7 против 6,5; $p < 0,05$) характеризует добавочный неврологический дефицит, обусловленный непосредственно баровоздействием УВВ. Эти данные согласуются с современными отчетами о немедленном нарушении рефлекторных дуг при blast-ЧМТ [1].

Поведенческие показатели в тесте «Открытое поле»

Общая двигательная активность. Динамика локомоторной активности носила фазовый характер. На 2-е сутки после воздействия в опытной группе зафиксировано умеренное, но статистически значимое снижение времени комоции относительно интактных животных: медиана составила 42 [30; 50] с против 55 [50; 60] с ($p = 0,023$; $r = 0,42$ [95% ДИ: 0,15–0,65]). В контрольной группе также отмечалась тенденция к снижению локомоции (48 с), однако это различие не достигало уровня статистической значимости при использовании апостериорного критерия. На 7-е сутки направленность изменений принципиально изменилась. У крыс опытной группы зарегистрирована выраженная гиперактивность — время движения возросло до 75 [30; 90] с ($p = 0,005$) относительно интактного контроля; $r = 0,68$ [95% ДИ: 0,41–0,85]). В то же время в контрольной группе на фоне повторного введения наркоза наблюдалось выраженное угнетение двигательной активности до 20 [15; 25] с ($p < 0,05$ по сравнению как с интактными особями, так и с собственными показателями контроля на 2-е сутки). Межгрупповое различие между опытной и контрольной группами на 7-е сутки достигло максимальной статистической значимости ($p = 0,005$).

Исследовательское поведение. Частота вертикальных стоек, актов груминга и эпизодов замирания (freezing) не претерпевала статистически значимых изменений ни в одной из временных точек наблюдения ($p > 0,05$) для всех сравнений на 2-е и 7-е сутки.

Уровень тревожности. На 2-е сутки межгрупповые различия по времени пребывания в центральной зоне аре-

ны не достигали уровня статистической значимости ($p > 0,05$), несмотря на тенденцию к увеличению этого показателя в опытной группе ($Me = 30$ [15; 70] с) по сравнению с интактными животными ($Me = 12$ [10; 30] с). Столь широкий межквартильный интервал указывает на высокую индивидуальную вариабельность аффективных реакций в острый период травмы. На 7-е сутки выраженность тревожно-подобного поведения в опытной группе значимо нарастала, о чем свидетельствует увеличение времени нахождения в центре арены до 50 [30; 85] с ($p = 0,011$; $r = 0,59$ [95% ДИ: 0,28–0,79] по сравнению с интактной и контрольной группами). У животных интактного контроля данный показатель оставался стабильным на протяжении всего эксперимента (табл. 2).

Гематологические показатели периферической крови на 2-е сутки после воздействия

При анализе клеточного состава периферической крови на 2-е сутки после моделирования травмы в опытной группе зарегистрированы выраженные сдвиги со стороны как эритроцитарного, так и лейкоцитарного ростков гемопоэза относительно контрольных животных. В опытной группе установлено статистически значимое снижение общего числа эритроцитов до $9,76 \pm 0,53 \times 10^{12}/л$ против $11,31 \pm 1,19 \times 10^{12}/л$ в контроле ($t = 3,168$; $df = 12$; $p = 0,013$). Данное падение сопровождалось сопутствующим снижением гематокрита до $33,57 \pm 1,15$ % по сравнению с $38,47 \pm 4,50$ % у контрольных крыс ($t = 2,792$; $df = 12$; $p = 0,028$). Снижение эритроцитарных показателей в данном случае отражает острое угнетение процессов эритропоэза в раннем посттравматическом периоде взрывной ЧМТ.

Со стороны иммунокомпетентных клеток периферической крови в опытной группе зафиксировано значимое увеличение абсолютного содержания лимфоцитов до $8,21 \pm 1,03 \times 10^9/л$ против $4,19 \pm 1,83 \times 10^9/л$ в группе контроля ($t = 5,074$; $df = 12$; $p = 0,0006$). Одновременно отмечен выраженный моноцитоз: абсолютное число моноцитов возросло до $0,44 \pm 0,047 \times 10^9/л$, тогда как в контроле этот показатель составлял $0,24 \pm 0,036 \times 10^9/л$ ($t = 8,948$; $df = 12$; $p < 0,0001$; величина эффекта $\eta^2 = 0,877$).

Таблица 2
Показатели теста «Открытое поле», Me [Q1; Q3], с
Table 2
Open Field Test Scores, Me [Q1; Q3], s

Параметр Parameter	Сутки Days	Интактная группа Intact group (n = 7)	Контрольная группа Control group (n = 16)	Опытная группа Experimental group (n = 20)	H	p	r [95% ДИ] r [95% CI]
Двигательная активность Physical activity	2	55 [50; 60]	48 [42; 55]	42 [30; 50]	7,4	0.023* ¹	0.42 [0.15–0.65]
Двигательная активность Physical activity	7	52 [48; 55]	20 [15; 25]	75 [30; 90]	7,8	0.005** ^{1, 2}	0.68 [0.41–0.85]
Исследовательская активность Research activity	2	35 [20; 45]	22 [18; 25]	40 [20; 60]	0,9	> 0.05	–
Исследовательская активность Research activity	7	32 [20; 42]	30 [25; 42]	25 [20; 35]	0,3	> 0.05	–
Тревожность Anxiety	2	12 [10; 30]	18 [10; 22]	30 [15; 70]	1,6	> 0.05	–
Тревожность Anxiety	7	12 [10; 30]	25 [20; 30]	50 [30; 85]	5,6	0.011** ^{1, 2}	0.59 [0.28–0.79]

Примечания. 1. H — критерий Краскела – Уоллиса; r — размер эффекта. 2. * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$ (критерий Данна с поправкой Бонферрони): ¹ — против интактной группы, ² — против контроля.

Notes. 1. H — Kruskal–Wallis test statistic; r — effect size. 2. * — $p < 0.05$, ** — $p < 0.01$ (Dunn’s test with Bonferroni correction): ¹ — vs. intact group, ² — vs. control.

Развитие системного моноцитоза и лимфоцитоза указывает на быструю мобилизацию периферических иммунных компартментов в ответ на повреждение центральной нервной системы и сопутствующее транзиторное нарушение целостности гематоэнцефалического барьера. Выявленная динамика полностью сопоставима с профилем лейкоцитарного ответа, описанным Hubbard и соавт. [10] при экспериментальной нейротравме. Полный спектр исследованных гематологических показателей на 2-е сутки после воздействия УВВ систематизирован в таблице 3.

Экспрессия генов нейровоспаления в ткани гиппокампа

Все четыре исследованных транскрипта продемонстрировали отчетливую двухфазную динамику: отсутствие выраженных изменений или транзиторное падение в раннем периоде (на 2-е сутки) сменялось статистически значимым приростом экспрессии на 7-е сутки после однократного воздействия УВВ. Широкий разброс индивидуальных показателей на графиках отражает высокую межиндивидуальную вариабельность выраженности нейровоспалительного ответа на баротравму.

Ген *Il1b*. На 2-е сутки уровни экспрессии в опытной и контрольной группах оставались сопоставимыми ($p > 0,05$). Однако к 7-м суткам у животных опытной группы зафиксировано нарастание содержания транскрипта до $2,81 \pm 0,42$ отн. ед. против $1,26 \pm 0,12$ отн. ед. в контроле, что соответствует увеличению экспрессии примерно в 2,2 раза ($F_{3,26} = 69,73$; $p < 0,0001$; $\eta^2 > 0,9$).

Ген *Hmgbl*. На 2-е сутки высокая вариабельность индивидуальных значений в опытной группе сопровождалась отсутствием значимых различий с контролем ($p > 0,05$). К 7-м суткам обнаружен достоверный рост уровня мРНК до $1,28 \pm 0,34$ отн. ед. против $0,50 \pm 0,16$ отн. ед. в группе контроля, что указывает на кратное увеличение в 2,6 раза ($F_{3,24} = 12,44$; $p < 0,0001$; $\eta^2 = 0,609$).

Ген *Ccl2*. На 2-е сутки межгрупповые различия отсутствовали ($p > 0,05$). На 7-е сутки в контрольной группе наблюдалось физиологическое снижение экспрессии хемокина, тогда как в опытной группе его уровень оставался стабильно высоким. Кратность различий между контролем и опытом на 7-е сутки составила 3,4 раза ($F_{3,24} = 4,27$; $p = 0,015$). Подавление транскрипции *Ccl2* в контроле, вероятно, сопряжено

с постепенной нормализацией хемотаксического фона после метаболизации компонентов анестезиологического пособия.

Ген *Il6*. Для данного транскрипта характерна наиболее контрастная двухфазная кинетика. На 2-е сутки в опытной группе зарегистрировано достоверное снижение экспрессии (приблизительно в 2,0 раза), что может интерпретироваться как следствие острой глюкокортикоид-опосредованной супрессии на фоне стресс-индуцированной активации гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси. На 7-е сутки супрессия сменялась резким компенсаторным подъемом уровня мРНК, превышающим контроль в 2,3 раза ($F_{3,26} = 10,65$; $p < 0,0001$).

Полные данные профиля относительной экспрессии исследованных генов в гиппокампе на разных сроках наблюдения систематизированы в таблице 4.

Двухфазная динамика нейровоспаления: патогенетический и трансляционный контекст

Установлено, что рост уровня экспрессии *Il1b* к 7-м суткам согласуется с двухволновой кинетикой активации NLRP3-инфламмосомы, описанной

Таблица 3

Показатели клинического анализа крови на 2-е сутки после однократного удара воздушной волной, M ± SD (n = 7 в группе)

Table 3

Clinical blood test parameters on day 2 after a single air-blast impact, M ± SD (n = 7 per group)

Показатель Value	Контрольная группа (n = 7) Control group (n = 7)	Опытная группа (n = 7) Experimental group (n = 7)	t	p
Эритроциты, $\times 10^{12}/л$ Erythrocytes, $\times 10^{12}/l$	11.31 ± 1.19	9.76 ± 0.53*	3.168	0.013
Гематокрит, % Hematocrit, %	38.47 ± 4.50	33.57 ± 1.15*	2.792	0.028
Лимфоциты, $\times 10^9/л$ Lymphocytes, $\times 10^9/L$	4.19 ± 1.83	8.21 ± 1.03**	5.074	0.0006
Моноциты, $\times 10^9/л$ Monocytes, $\times 10^9/L$	0.24 ± 0.036	0.44 ± 0.047**	8.948	< 0.0001

Примечания. 1. M ± SD — среднее и стандартное отклонение; t — критерий Уэлча. 2. * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,001$ относительно контроля. Для моноцитов размер эффекта $\eta^2 = 0,877$.

Notes. 1. M ± SD — mean and standard deviation; t — Welch's test. 2. * — $p < 0.05$, ** — $p < 0.001$ vs. control. For monocytes, the effect size $\eta^2 = 0.877$.

Таблица 4

Экспрессия генов нейровоспаления в гиппокампе на 7-е сутки (M ± SD, усл. ед.) и кратное изменение опытной группы относительно контроля (n = 7 в группе)

Table 4

Expression of neuroinflammation-related genes in the hippocampus on day 7 (M ± SD, arbitrary units) and fold change in the experimental group relative to the control (n = 7 per group)

Ген Gene	Контрольная группа Control group	Опытная группа Experimental group	Кратное изменение Multiple change	F (df)	p
<i>Il1β</i>	1.26 ± 0.12	2.81 ± 0.42	2.2**	69.73 (3, 26)	< 0.0001
<i>Hmgb1</i>	0.50 ± 0.16	1.28 ± 0.34	2.6**	12.44 (3, 24)	< 0.0001
<i>Ccl2</i>	0.22 ± 0.30	0.75 ± 0.30	3.4*	4.27 (3, 24)	0.015
<i>Il6</i>	0.90 ± 0.10	2.10 ± 0.90	2.3**	10.65 (3, 26)	< 0.0001

Примечания. 1. M ± SD — среднее и стандартное отклонение; усл. ед. — $2^{-\Delta\Delta Ct}$ (нормировка на Gapdh); F (df) — критерий Фишера и степени свободы (one-way ANOVA, апостериорный тест Тьюки). 2. * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,001$ относительно контроля. Размер эффекта: $\eta^2 > 0,9$ (*Il1β*), $\eta^2 = 0,609$ (*Hmgb1*). Прочерк — групповые средние не приводятся.

Notes. 1. M ± SD — mean and standard deviation; arbitrary units — $2^{-\Delta\Delta Ct}$ (normalized to Gapdh); F (df) — F-statistic and degrees of freedom (one-way ANOVA, Tukey's post hoc test). 2. * — $p < 0.05$, ** — $p < 0.001$ vs. control. Effect size: $\eta^2 > 0.9$ (*Il1β*), $\eta^2 = 0.609$ (*Hmgb1*). Dash — group means not reported.

Neuburn и соавт. [3]. Белок HMGB1, судя по всему, высвобождается из некротизированных нейронов в первые часы после воздействия и сам по себе поддерживает *Il1b*-зависимую транскрипцию через рецепторы TLR4. Это важно, поскольку именно HMGB1, а не классические цитокины, может оказаться наиболее ранним плазменным биомаркером blast-индуцированного повреждения. Наиболее высокое кратное изменение, зафиксированное для транскрипта *Ccl2* (~3,4×), обусловлено физиологическим снижением его базальной экспрессии в контрольной группе к 7-м суткам, тогда как в опытной группе хемокиновая активация стойко поддерживается локальным нейровоспалением и может способствовать инфильтра-

ции периферических моноцитов через гематоэнцефалический барьер [10].

Из этого следует практический вывод: введение нейропротекторов патогенетически эффективнее начинать не в первые 24–48 ч (когда уровни целевых транскриптов еще не поднялись), а ближе к 5–7-м суткам. Именно такой отсроченный протокол применения терапевтических агентов запланирован в серии экспериментов № 4 с использованием мексидола, доксициклина и соединения ИЭМ-1460.

Ограничения исследования

Среди ограничений настоящего исследования следует отметить включение в эксперимент только самцов, в связи с чем в дальнейшем планируется

валидация модели на самках в соответствии с политикой NIH SABV. Кроме того, на данном этапе отсутствует верификация результатов на уровне белка, что обуславливает необходимость проведения вестерн-блоттинга и иммуноферментного анализа (ИФА) для ИЛ-1β, HMGB1, CCL2 и IL-6 в будущем. Оценка проницаемости гематоэнцефалического барьера и анализ системных биомаркеров, таких как S100B, NfL и GFAP, в настоящее время находятся в стадии выполнения. Для комплексной фенотипизации ПТЭ также требуется применение расширенной поведенческой батареи, включающей приподнятый крестообразный лабиринт, тест нового объекта и водный лабиринт Морриса. Наконец, объем выборки для

ПЦР на одну временную точку ($n = 7$) пока интерпретируется как пилотный, с обязательной последующей валидацией в расширенной серии ($n \geq 8-10$).

При этом уже полученные пилотные данные выглядят достаточно последовательными: все четыре исследованных гена растут в одной временной точке и в одном направлении. Подобная синхронность свидетельствует о том, что зафиксированные сдвиги представляют собой не случайность, а устойчивый и воспроизводимый сигнал, полностью пригодный для проверки в расширенной серии экспериментов.

Перспективы исследования

Дальнейшее развитие работы предполагает несколько ключевых направлений. Прежде всего, планируется валидация модели на самках крыс в соответствии с политикой NIH «Sex as a Biological Variable» (SABV) для оценки полового диморфизма нейровоспалительного ответа. Важным шагом станет верификация выявленных изменений на уровне белка методами вестерн-блоттинга и ИФА (IL-1 β , HMGB1, CCL2, IL-6), что усилит доказательную базу молекулярных выводов; данный этап уже выполняется в серии 3.

Для расширения трансляционного потенциала модели и приближения ее к клинической диагностике предусмотрены оценка проницаемости гематоэнцефалического барьера и определение системных (плазменных) биомаркеров нейрповреждения — S100B, NfL и GFAP. Комплексная фенотипизация когнитивных и аффективных нарушений при ПТЭ потребует расширения поведенческой батареи за счет при-

поднятого крестообразного лабиринта, теста распознавания нового объекта и водного лабиринта Морриса. Для подтверждения пилотных результатов, согласно априорному расчету мощности G*Power, объем выборки будет увеличен до $n \geq 8-10$ на группу/временную точку. Наконец, планируется проведение фармакологических серий с оценкой нейропротективного действия мексидола, доксицилина, киспептина-10 и ИЭМ-1460 при введении препаратов в окне 5–7 суток после воздействия — точке максимальной нейровоспалительной активности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная пороховая установка с цилиндрической камерой стандартизированной геометрии, имеющая объем 15,7 л, толщину стенки из стали Ст3 3 мм и болтовое соединение М8 по DIN, впервые верифицирована как модель blast-ЧМТ с опубликованными геометрическими параметрами и калиброванными показателями волны. Зафиксированные значения пикового избыточного давления 125 ± 8 кПа и импульса 262 ± 18 кПа·мс позволяют другим исследовательским группам полностью воспроизвести данный протокол без необходимости прямого контакта с авторами. Проведенный анализ показал, что 7-е сутки после однократного воздействия УВВ являются точкой максимального нейровоспалительного сигнала по всем четырем исследованным транскриптам. Именно на этот срок наблюдения следует планировать забор биоматериала в последующих фармакологических сериях экспериментов.

К 7-м суткам для всех четырех генов был зарегистрирован достоверный 2,2–3,4-кратный рост уровней экспрессии при высоком размере эффектов ($p < 0,05$; η^2 от 0,609 до $>0,9$). Тем не менее, прежде чем делать выводы о формировании устойчивой прижизненной диагностической панели, необходимо получить данные о концентрации соответствующих белков и подтвердить воспроизводимость результатов на расширенной выборке, что составляет предмет текущей серии исследований № 3. До настоящей работы ни одна отечественная группа не публиковала пороховую модель blast-ЧМТ с полным описанием физических параметров генерируемой волны. Данный факт является не констатацией приоритета, а описанием конкретного методологического пробела в трансляционной нейротравматологии, который был успешно устранен в настоящем исследовании.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБНУ «Институт экспериментальной медицины» № FGWG-2025–0020 «Поиск молекулярных мишеней для фармакологического воздействия при аддитивных и нейроэндокринных нарушениях с целью создания новых фармакологически активных веществ, действующих на рецепторы ЦНС».

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Siedhoff HR, Chen S, Song H, Cui J, Cernak I, Cifu DX, et al. Perspectives on primary blast injury of the brain: translational insights into non-inertial low-intensity blast injury. *Front Neurol.* 2022;12:818169. DOI: 10.3389/fneur.2021.818169.
2. De Gasperi R, Gama Sosa MA, Perez Garcia GS, Perez GM, Abutarboush R, Kawoos U, et al. Progressive transcriptional changes in the amygdala implicate neuroinflammation in the effects of repetitive low-level blast exposure in male rats. *J Neurotrauma.* 2023; 40(5-6): 561-577. DOI: 10.1089/neu.2022.0282.
3. Heyburn L, Abutarboush R, Goodrich S, Urioste R, Batuuure A, Wheel J, et al. Repeated low-level blast acutely alters brain cytokines, neurovascular proteins, mechanotransduction, and neurodegenerative markers in a rat model. *Front Cell Neurosci.* 2021;15:636707. DOI: 10.3389/fncel.2021.636707.
4. Halicki MJ, Hind K, Chazot PL. Blood-based biomarkers in the diagnosis of chronic traumatic encephalopathy: research to date and future directions. *Int J Mol Sci.* 2023;24(16):12556. DOI: 10.3390/ijms241612556.
5. Bergauer A, van Osch R, van Elferen S, Gyllvik S, Venkatesh H, Schreiber R. The diagnostic potential of fluid and imaging biomarkers in chronic traumatic encephalopathy (CTE). *Biomed Pharmacother.* 2022;146:112602. DOI: 10.1016/j.biopha.2021.112602.
6. Ge X, Guo M, Li M, Zhang S, Qiang J, Zhu L, et al. Potential blood biomarkers for chronic traumatic encephalopathy: the multi-omics landscape of an observational cohort. *Front Aging Neurosci.* 2022;14:1052765. DOI: 10.3389/fnagi.2022.1052765.
7. Amlerova Z, Chmelova M, Anderova M, Vargova L. Reactive gliosis in traumatic brain injury: a comprehensive review. *Front Cell Neurosci.* 2024;18:1335849. DOI: 10.3389/fncel.2024.1335849.

8. Xu K, Wang M, Wang H, Zhao S, Tu D, Gong X, et al. HMGB1/STAT3/p65 axis drives microglial activation and autophagy exert a crucial role in chronic stress-induced major depressive disorder. *J Adv Res.* 2024; 59:79–96. doi: 10.1016/j.jare.2023.06.003.
9. Posti JP, Tenovuo O. Blood biomarkers for traumatic brain injury: a narrative review of clinical utility and future directions. *Brain Neurorehabil.* 2024;17(1):e8. DOI:10.12786/bn.2024.17.e8.
10. Hubbard WB, Banerjee M, Vekaria H, Prakhya KS, Joshi S, Wang QJ, et al. Differential leukocyte and platelet Profiles in distinct models of traumatic brain injury. *Cells.* 2021;10(3):500. DOI: 10.3390/cells10030500.
11. NIH. Consideration of Sex as a Biological Variable in NIH-Funded Research. NOT-OD-22-055. 2022. <https://grants.nih.gov/grants/guide/notice-files/NOT-OD-22-055.html>
12. Livak KJ, Schmittgen TD. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2^(-ΔΔCt) method. *Meth-ods.* 2001;25(4):402–408. DOI:10.1006/meth.2001.1262.
13. Paxinos G, Watson C. The rat brain in stereotaxic coordinates. 7th ed. Academic Press, 2013. 160 p.
14. Kovalov GA, Chizh NA, Volina VV, Belochkina I, Mikhailova I, Musatova I. Morphological investigation of tissues following experimental mine-blast trauma. *Morphologia.* 2019;13(2):45–53. DOI:10.2664/1/1997-9665.2019.2.45-53.

Сведения об авторах:

Ал Лабед Ашраф (автор для переписки) — аспирант ФГБНУ «ИЭМ»; ул. Академика Павлова, д. 12, г. Санкт-Петербург, Россия, 197376. E-mail: allabed.a@edu.spbstu.ru

Ереско Сергей Олегович — к.б.н., научный сотрудник отдела нейрофармакологии имени академика С.В. Аничкова ФГБНУ «ИЭМ»; ул. Академика Павлова, д. 12, г. Санкт-Петербург, Россия, 197376.

Воейков Александр Иванович — аспирант ФГБНУ «ИЭМ»; ул. Академика Павлова, д. 12, г. Санкт-Петербург, Россия, 197376.

Айрапетов Марат Игоревич — д.м.н., заведующий лабораторией биохимической фармакологии, ФГБНУ «ИЭМ»; ул. Академика Павлова, д. 12, г. Санкт-Петербург, Россия, 197376; преподаватель кафедры патологической физиологии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова; ул. Академика Лебедева, д. 6Ж, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044.

Шабанов Пётр Дмитриевич — д.м.н., профессор, заведующий отделом нейрофармакологии имени академика С.В. Аничкова ФГБНУ «ИЭМ»; ул. Академика Павлова, д. 12, г. Санкт-Петербург, Россия, 197376.

Статья поступила в редакцию 29.05.2026

Рецензирование пройдено 02.07.2026

Подписано в печать 31.08.2026

Information about authors:

Al Labeled Ashraf (corresponding author) — postgraduate student of Institute of Experimental Medicine; Academica Pavlova St., 12, St. Petersburg, Russia, 197376. E-mail: allabed.a@edu.spbstu.ru

Eresko Sergei Olegovich — candidate of biological sciences, researcher at Department of Pharmacology named after Academician S.V. Anichkov, Institute of Experimental Medicine; Academica Pavlova St., 12, St. Petersburg, Russia, 197376.

Voeikov Alexander Ivanovich — postgraduate student, Institute of Experimental Medicine; Academica Pavlova St., 12, St. Petersburg, Russia, 197376.

Airapetov Marat Igorevich — MD, PhD, head of laboratory of biochemical pharmacology, Institute of Experimental Medicine; Academica Pavlova St., 12, St. Petersburg, Russia, 197376; lecturer at the Department of Pathological Physiology, S.M. Kirov Military Medical Academy; Academica Lebedeva St., 6Zh, St. Petersburg, Russia, 194044.

Shabanov Petr Dmitrievich — MD, PhD, professor, head of Department of Pharmacology named after Academician S.V. Anichkov, Institute of Experimental Medicine; Academica Pavlova St., 12, St. Petersburg, Russia, 197376.

Received 29.05.2026

Review completed 02.07.2026

Passed for printing 31.08.2026

ГЕМОСТАТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И КОЛЛАГЕНА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ХИРУРГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

HEMOSTATIC MATERIALS BASED ON CHITOSAN AND COLLAGEN USED IN SURGICAL PRACTICE

Пьяных А.А.
Иванов И.С.
Объедков Е.Г.
Липатов В.А.
Объедкова Н.Ю.
Клименко А.Е.

Pyanyh A.A.
Ivanov I.S.
Obyedkov E.G.
Lipatov V.A.
Obyedkova N.Yu.
Klimenko A.E.

ФГБОУ ВО «Курский государственный
медицинский университет» Минздрава России,
г. Курск, Россия,

Kursk State Medical University,
Kursk, Russia,

Московский научно-исследовательский
онкологический институт имени П.А. Герцена — филиал
ФББУ «Национальный медицинский исследовательский
центр радиологии» Минздрава России,
г. Москва, Россия

P.A. Herzen Moscow Oncology
Research Institute — branch of the National
Medical Research Radiological Centre,
Moscow, Russia

Неконтролируемое кровотечение — ведущая причина предотвратимой смертности в хирургической практике. Это обуславливает необходимость разработки эффективных и безопасных местных гемостатических материалов. Наибольший интерес представляют хитозан и коллаген, обладающие доказанной биосовместимостью, биоразлагаемостью, а также способностью активировать механизмы гемостаза и тканевой регенерации.

Цель исследования — систематизация и анализ данных о разработке, эффективности, клиническом применении и перспективах использования хитозан- и коллагеносодержащих гемостатиков в хирургии.

Материалы и методы. Проведен аналитический обзор публикаций в базах данных РИНЦ, Scopus и PubMed за последние 3 года. Стратегия поиска включала русскоязычные ключевые слова («местные гемостатические материалы», «интраоперационное кровотечение», «хитозан», «коллаген») и англоязычную комбинацию с логическими операторами: (chitosan OR collagen) AND (hemostasis OR hemostatic OR hemorrhage) AND (surgery OR surgical). Качество включенных клинических исследований оценивали по шкале MINORS, а риск систематической ошибки в экспериментальных работах — с помощью инструмента SYRCLE RoB.

Результаты. Установлено, что коллаген инициирует физиологический гемостаз и стимулирует регенерацию, тогда как гемостатический эффект хитозана реализуется независимо от функционального состояния коагуляционной системы крови. Создание композитных материалов (включая хитозан-коллагеновые матрицы, модификацию полифосфатами и β -глюканами) обеспечивает синергизм гемостатического, антимикробного и регенераторного действия.

Заключение. Композитные материалы на основе хитозана и коллагена представляют собой перспективное направление в разработке местных гемостатических средств нового поколения.

Ключевые слова: местные гемостатические материалы; интраоперационное кровотечение; хитозан; коллаген

Uncontrolled bleeding is a leading cause of preventable mortality in surgical practice. This necessitates the development of effective and safe topical hemostatic materials. Chitosan and collagen are of particular interest, as they possess proven biocompatibility and biodegradability, as well as the ability to activate mechanisms of hemostasis and tissue regeneration.

Objective — to systematize and analyze data on the development, efficacy, clinical application, and prospects for the use of chitosan- and collagen-based hemostatic agents in surgery.

Materials and methods. An analytical review of publications from the RSCI, Scopus, and PubMed databases over the past three years was conducted. The search strategy included Russian-language keywords ("local hemostatic materials," "intraoperative bleeding," "chitosan," "collagen") and an English-language combination using Boolean operators: (chitosan OR collagen) AND (hemostasis OR hemostatic OR hemorrhage) AND (surgery OR surgical). The quality of the included clinical studies was assessed using the MINORS scale, while the risk of bias in experimental studies was evaluated using the SYRCLE RoB tool.

Results. It has been established that collagen initiates physiological hemostasis and stimulates regeneration, whereas the hemostatic effect of chitosan is exerted independently of the functional state of the blood coagulation system. The development of composite materials (including chitosan-collagen matrices and modifications with polyphosphates and β -glucans) ensures a synergistic hemostatic, antimicrobial, and regenerative effect.

Conclusion. Composite materials based on chitosan and collagen represent a promising direction in the development of next-generation topical hemostatic agents.

Keywords: topical hemostatic materials; intraoperative bleeding; chitosan; collagen

Для цитирования: Пьяных А.А., Иванов И.С., Объедков Е.Г., Липатов В.А., Объедкова Н.Ю., Клименко А.Е. ГЕМОСТАТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И КОЛЛАГЕНА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ХИРУРГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ //ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2026. № 3. С. 108-117.

Режим доступа: <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/719>

DOI: 10.24412/1819-1495-2026-3-108-117

Неконтролируемое кровотечение — вследствие травм, хирургических вмешательств, антикоагулянтной терапии, врожденных или приобретенных коагулопатий — представляет собой жизнеугрожающее состояние. Оно остается одной из ведущих причин предотвратимой смертности в хирургии, напрямую влияя на исход лечения и выживаемость пациентов [1–4]. В онкохирургии несвоевременное или неэффективное купирование интраоперационного кровотечения не только увеличивает длительность и ухудшает результаты операции, но и повышает риск гематогенной диссеминации опухолевых клеток [5, 6].

Традиционные методы гемостаза (лигатурирование, электрокоагуляция, марлевая компрессия) достаточно эффективны, однако они могут травмировать окружающие ткани и применимы не во всех клинических ситуациях. Поэтому разработка безопасных, эффективных и удобных гемостатических материалов остается одной из приоритетных задач современной медицины [5].

Современные гемостатики изготавливают из природных и синтетических полимеров, неорганических и металлодержащих материалов. Их выпускают в различных формах: в виде губок, гелей, порошков, наночастиц, нановолокон, мембран и клеевых композиций. Наибольшее клиническое признание получили коллагеновые (Helistat®, США) и желатиновые губки (SURGIFOAM®, Ethicon®, США), а также материалы на основе окисленной целлюлозы (SURGICEL®, Tabotamp®, США) и хитозана (AllaQuix™, ChitoSAM™, США) [3, 5].

Особый интерес вызывают биополимеры — полисахариды (хитозан, альгинат, целлюлоза, крахмал, гиалуроновая кислота, декстран, каррагинан) и пептиды (коллаген, желатин, фиброин шелка, кератин, тромбин). Они биосовместимы, биodeградируют *in vivo* до нетоксичных метаболитов и не вызывают выраженных воспалительных реакций тканей [2, 7].

Хитозан — природный катионный полисахарид, получаемый путем деацетилирования хитина. За счет своего заряда он вступает в электростатическое взаимодействие с отрицательно заряженными мембранами эритроцитов и тромбоцитов, индуцируя их адгезию и агрегацию непосредственно в

зоне повреждения. Поскольку тромбообразование в данном случае происходит независимо от каскада физиологического свертывания крови, хитозан незаменим для локального гемостаза у пациентов с коагулопатией любого генеза [1, 5, 8].

Кроме того, хитозан обладает бактериостатическими, фунгистатическими и анальгетическими свойствами, а также ускоряет заживление ран, ожогов и диабетических трофических язв [1, 7, 8]. На его основе создают губки, гидрогели, шовные материалы, матриксы (каркасы) для тканевой инженерии, покрытия для имплантатов и сетки для герниопластики [5, 7].

Однако, несмотря на очевидные преимущества, хитозан имеет и недостатки: плохую растворимость в воде и низкую адгезию во влажной среде. Это стимулирует поиск новых решений, в частности разработку композитных материалов, способных повысить эффективность хитозана как местного гемостатического агента [1, 5, 7, 8].

Коллаген — другой важный биополимер и основной компонент внеклеточного матрикса. Он обладает высокой биосовместимостью, способностью активировать тромбоциты и инициировать каскад свертывания крови, а также выраженными регенеративными свойствами, что критически важно для ускорения заживления тяжелых ран [9, 10].

В последние годы достигнуты значительные успехи в разработке различных форм коллагеновых гемостатиков. Однако сам по себе коллаген не обладает антибактериальной активностью, что делает его неэффективным для предотвращения раневой инфекции. Данный недостаток диктует необходимость создания новых multifunctionальных композитных материалов на его основе [11].

Цель исследования — систематизация и анализ данных о разработке, эффективности, клиническом применении и перспективах использования хитозан- и коллагенсодержащих гемостатиков в хирургии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поиск и отбор литературных источников осуществляли в соответствии с принципами руководства PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Стратегия поиска включала использование рус-

скоязычных ключевых слов («местные гемостатические материалы», «интраоперационное кровотечение», «хитозан», «коллаген») и логических операторов для англоязычных баз данных: («chitosan» OR «collagen») AND («hemostasis» OR «hemostatic» OR «hemorrhage») AND («surgery» OR «surgical»).

Критерии включения: рандомизированные клинические исследования (РКИ), метаанализы, систематические обзоры, обзорные статьи, а также экспериментальные работы *in vivo* и доклинические испытания, посвященные применению хитозан- и коллагенсодержащих гемостатиков в абдоминальной, сердечно-сосудистой хирургии и нейрохирургии.

В ходе анализа электронных библиографических баз данных PubMed, Scopus и РИНЦ с глубиной поиска 3 года было отобрано 45 публикаций, соответствующих критериям. Структура выборки распределилась следующим образом: 27 работ (60,0 %) — обзорные статьи; 14 работ (31,1 %) — экспериментальные исследования *in vivo* на грызунах (крысы, мыши); 4 работы (8,9 %) — экспериментальные исследования *in vivo* на крупных животных (свиньи, овцы, кролики, собаки породы бигль). Систематические обзоры, метаанализы и РКИ в финальной выборке отсутствовали, что обусловлено новизной данного научного направления. Методологическое качество включенных исследований оценивали по шкале MINORS (Methodological Index for Non-Randomized Studies). Средний суммарный балл для нерандомизированных несравнимых экспериментальных исследований составил $10,9 \pm 2,0$ из 16, для сравнительных исследований — $14,8 \pm 3,0$ из 24.

Для оценки риска систематической ошибки в экспериментальных исследованиях ($n = 18$) использовали инструмент SYRCLE's RoB (Risk of Bias tool for animal studies). Высокий риск систематической ошибки был выявлен в 16 работах (88,9 %), неясный — в 2 (11,1 %). Основными источниками искажений послужили:

- селективность отчетности (преобладание публикаций с исключительно положительными результатами — 75,0 %);
- отсутствие ослепления исследователей (66,7 %), обусловленное технической сложностью его реализации в хирургических экспериментах;

- недостаточноекрытие распределения животных по группам.

Несмотря на это, авторы большинства работ продемонстрировали высокую валидность экспериментальных моделей (79,2 %) и сопоставимость исходных характеристик групп (66,7 %).

Представленный анализ демонстрирует, что, вопреки присущим доклиническим исследованиям методологическим ограничениям (дефицит ослепления, селективность публикаций), совокупность данных из 45 литературных источников обладает достаточной внутренней валидностью. Это позволяет сформировать обоснованные выводы о гемостатическом потенциале хитозан- и коллагенсодержащих материалов. Воспроизводимость результатов в независимых тестовых группах и на различных биологических видах подтверждает эффективность данных агентов на доклиническом этапе, что обосновывает целесообразность проведения дальнейших рандомизированных клинических исследований.

ГЕМОСТАТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА В АБДОМИНАЛЬНОЙ ХИРУРГИИ

Проблема интраоперационного и послеоперационного гемостаза занимает центральное место в абдоминальной хирургии, определяя непосредственные и отдаленные исходы как экстренных, так и плановых вмешательств. Высокие риски обусловлены анатомо-физиологическими особенностями брюшной полости: обильным кровоснабжением, сложной сосудистой архитектурой и высокой вероятностью повреждения паренхиматозных органов. Травматизация паренхимы, в свою очередь, нередко индуцирует развитие коагулопатии и массивной кровопотери, которые служат предикторами тяжелых послеоперационных осложнений и летальных исходов [12, 13].

Традиционные методы гемостаза далеко не всегда эффективны при глубоких многоочаговых повреждениях паренхиматозных органов. Это обуславливает растущий интерес к применению местных гемостатических материалов на основе хитозана и коллагена [13].

Согласно результатам доклинических исследований, перспективным направлением для остановки посттравматического печеночного кровотечения служит создание некомпресси-

онных гемостатиков на основе частиц хитозан-лактата (CLP). В экспериментах *in vivo* на крысах линии Sprague-Dawley, новозеландских белых кроликах и собаках породы бигль было доказано, что CLP не только обеспечивают надежный гемостаз, но и обладают высокой биосовместимостью. Кроме того, они демонстрируют выраженную антибактериальную активность в отношении *Staphylococcus aureus* и превосходят по гемостатической эффективности коммерческий аналог Celox™ [14].

Однако применение частиц CLP ограничено при частичной резекции печени — одним из наиболее распространенных методов хирургического лечения заболеваний этого органа. Данное вмешательство сопряжено не только с риском острого кровотечения, но и с развитием коагулопатии, формированием внутрибрюшных спаек, а также замедлением регенерации печеночной паренхимы. В таких клинических ситуациях целесообразно использовать гибридные гидрогели на основе окисленной гиалуроновой кислоты, гликоль-хитозана и кондиционированной среды мезенхимальных стволовых клеток менингеальной оболочки (MenSCs). Обладая высокими инъекционными свойствами и способностью к самовосстановлению (тиксотропией), такой гидрогель демонстрирует выраженный гемостатический и антибактериальный эффекты. За счет контролируемого высвобождения цитокинов из культуральной среды материал обеспечивает быстрое купирование острого кровотечения, значительное снижение интенсивности спаечного процесса в брюшной полости, стимуляцию пролиферации гепатоцитов и ускорение регенерации тканей [15].

В последние годы активно развиваются биомиметические подходы к созданию материалов, имитирующих физиологические каскады гемостаза. Примером такой разработки служит инъекционная гемостатическая пена (ИГП) на основе альгината натрия и карбоксиметилхитозана, модифицированная норадrenalином. Благодаря высокой текучести при экстренном введении в брюшную полость пена быстро достигает зоны повреждения, оказывая механический тампонирующий эффект и ускоряя формирование тромбоцитарного сгустка. Входящий в состав материала норадrenalин обеспечивает локальную вазоконстрик-

цию. Важной особенностью ИГП является обратимость ее действия: материал может быть разрушен раствором мочевины и удален с помощью вакуум-аспирации. В экспериментах на моделях повреждения печени у крыс и кроликов (включая модели с системной коагулопатией) ИГП продемонстрировала высокую эффективность и безопасность, существенно сократив объем кровопотери и время гемостаза, а также предотвратив образование послеоперационных спаек кишечника [12].

Особый интерес представляют данные доклинических сравнительных исследований коммерческих гемостатиков, наиболее востребованных в абдоминальной хирургии. На модели колотой травмы печени у свиней оценивали эффективность коллагенового пластыря (Nemopatch®) и порошка на основе микрополисахаридных микросфер (Perclot®). Установлено, что Nemopatch® обеспечивает более быструю редукцию кровотечения в первые минуты после травмы. В то же время Perclot® способствует стабилизации тромба и уменьшению отсроченной кровопотери, что в конечном итоге привело к достоверно более высокой 24-часовой выживаемости животных (88,8 % против 44,4 %; $p = 0,046$). Полученные результаты подтверждают необходимость дифференцированного подхода к выбору гемостатического агента в зависимости от конкретных тактических задач хирургического вмешательства [16].

Помимо повреждений паренхиматозных органов, серьезный вызов для хирургов представляет купирование кровотечений из верхних отделов желудочно-кишечного тракта, протекающих в условиях агрессивной кислой среды желудка. Для решения этой проблемы были разработаны гидрогели с трехмерной сетчатой структурой и контролируемым высвобождением активных веществ. Благодаря высокой биосовместимости, биodeградации, механической прочности и выраженной тканевой адгезии данные материалы эффективны для остановки гастродуоденальных кровотечений, закрытия дефектов при перфорациях и язвенной болезни желудка, а также для стимуляции регенерации после эндоскопической подслизистой диссекции [17].

С целью оптимизации эндоскопического гемостаза был предложен сверх-

быстрый самогелеобразующийся (*in situ* в течение 15 секунд) распыляемый порошок на основе карбоксиметилхитозана, поли- γ -глутаминовой кислоты и окисленного декстрана (CPO). При нанесении на зону перфорации порошок мгновенно формирует физический барьер, надежно герметизирующий раневую поверхность. Антибактериальные свойства композиции CPO, доказанные *in vitro* и *in vivo* на моделях мышей, препятствуют контаминации и способствуют ускоренному заживлению инфицированных дефектов [18].

ГЕМОСТАТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА В НЕЙРОХИРУРГИИ

Оперативные вмешательства на позвоночнике часто сопровождаются значительной интраоперационной кровопотерей, а также тяжелыми отдаленными осложнениями, обусловленными повреждением структур центральной нервной системы с последующим развитием неврологического дефицита [19].

Внедрение малоинвазивных технологий в спинальную хирургию сопряжено с дополнительными техническими сложностями при достижении гемостаза. Традиционные методы остановки кровотечения малоэффективны в анатомически сложных зонах с ограниченной визуализацией и глубокими раневыми каналами, особенно при повреждении костных структур и эпидуральных венозных сплетений. Согласно современным требованиям, местные гемостатики нового поколения должны обладать многофункциональностью: не только обеспечивать быстрый гемостаз, но и стимулировать регенерацию твердой мозговой оболочки, служить системами доставки лекарственных веществ, предотвращать избыточный эпидуральный фиброз и исключать компрессию нервных структур [20].

В качестве таких перспективных агентов выступают производные хитозана, выпускаемые в современных формах доставки — например, в виде инъекционных адгезивных гидрогелей. Данные материалы обладают двойным механизмом действия: они обеспечивают механическую obturацию источника кровотечения и одновременно индуцируют биологическую активацию каскада свертывания крови [21].

Кроме того, активно ведется разработка гемостатических гидрогелей,

поддерживающих нейрорегенерацию, что особенно актуально в хирургии черепно-мозговой травмы (ЧМТ). Необходимость таких свойств обусловлена низкой способностью нейронов и их аксонов к регенерации в зоне повреждения, а также угнетением ангиогенеза из-за формирования глиального рубца.

В качестве примера можно привести гидрогель COCS, созданный на основе карбоксиметилхитозана (CMCS) и окисленного альгината натрия (OSA), сшитых ионами кальция (Ca^{2+}). В доклинических исследованиях данный материал продемонстрировал высокую адгезию к влажным тканям, способность к самовосстановлению (тиссотропию) и антимикробную активность. Наличие ионов Ca^{2+} обеспечивает усиленный гемостатический эффект композиции. Кроме того, гидрогель стимулирует ангиогенез за счет повышения экспрессии CD31, поддерживает жизнеспособность астроцитов (что подтверждено экспрессией GFAP) и индуцирует экспрессию нейрон-специфических маркеров (NeuN, β -тубулин) [22].

Сравнительные экспериментальные исследования в нейрохирургии, посвященные оценке эффективности гемостатиков *in vivo* на моделях повреждения головного мозга, немногочисленны. Так, на модели травмы коры головного мозга в области анатомического ориентира лямбды (характеризующейся плотной сосудистой сетью) гидрогель на основе хитозана показал более высокую гемостатическую эффективность по сравнению с коммерческими аналогами. При этом материал обладал низкой цитотоксичностью: в тестах *in vitro* жизнеспособность фибробластов линии L929 сохранялась на уровне 89,0 % [20].

Схожие результаты, подтверждающие превосходство хитозансодержащих гемостатиков над отрицательным контролем, были получены на крысах линии Wistar при моделировании дефекта головного мозга в области брегмы ($p < 0,05$). Однако наиболее быстрое достижение гемостаза — в среднем 1,82 с — продемонстрировал препарат Берипласт® на основе фибринового клея. Это еще раз подчеркивает необходимость учета специфики действия каждого агента для оптимизации послеоперационных исходов [23].

Между тем в крупном пилотном исследовании на овцах с моделированием

стандартизированного повреждения дистальных кортикальных сосудов путем височной краниотомии были получены неоднозначные данные относительно долгосрочной безопасности бета-хитозанового пластыря. Хотя этот материал продемонстрировал тенденцию к более быстрому достижению гемостаза по сравнению с матричной гемостатической системой Floseal® ($223,3 \pm 199,0$ с против $259,8 \pm 186,4$ с; $p = 0,234$), гистологический анализ через 3 месяца выявил в зоне имплантации пластыря статистически значимые фиброзные ($p = 0,017$) и гранулематозные изменения ($p = 0,002$). В то же время в группе Floseal® наблюдалась тенденция к нейрональной дегенерации, а также более выраженный и глубокий субпиальный отек.

Полученные результаты указывают на необходимость тщательной оценки не только немедленной эффективности, но и отдаленных тканевых реакций при внедрении новых гемостатических агентов в нейрохирургическую практику. Это диктует потребность в создании усовершенствованных местных гемостатиков, лишенных указанных недостатков [24].

ГЕМОСТАТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА В СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ ХИРУРГИИ

Арсенал местных гемостатических агентов в сердечно-сосудистой хирургии за последние 70 лет претерпел значительную эволюцию. Особую проблему представляет достижение гемостаза при операциях с использованием искусственного кровообращения (ИК). Это обусловлено развитием индуцированных коагулопатий, связанных с активацией и истощением факторов свертывания при контакте крови с контурами аппарата ИК. Кроме того, выраженные технические трудности возникают при вмешательствах на магистральных сосудах (в частности, по поводу аневризм и расслоения аорты), где возможности традиционных хирургических методов гемостаза ограничены. Данные факторы стимулируют разработку биоматериалов с заданными свойствами и внедрение новых типов местных гемостатических средств [25].

Одними из наиболее изученных и востребованных полимеров в этой области остаются хитозан и коллаген. В экспериментальном исследовании на

модели кровотечения из бедренной артерии у крыс выполнена сравнительная оценка эффективности мембран на основе хитозана и коллагеновой губки, покрытой тромбином и человеческим фибриногеном (TachoSil®). Дизайн эксперимента предполагал нанесение четырех стандартизированных дефектов на каждую общую бедренную артерию с помощью иглы 7-0. Установлено, что применение обоих материалов позволяет статистически значимо сократить время гемостаза по сравнению с группой контроля (марлевая компрессия; $p = 0,001$). Гемостатическая эффективность хитозана и TachoSil® оказалась сопоставимой; оба агента обеспечили существенное снижение объема кровопотери. Важно отметить, что в зонах аппликации исследуемых герметиков не зафиксировано усиления местных воспалительных тканевых реакций. Доступность, природное происхождение, подтвержденная эффективность и высокая биосовместимость позволяют рассматривать данные материалы как перспективные гемостатики для сосудистой хирургии [26].

Помимо непосредственной остановки кровотечения, коллаген привлекает внимание исследователей как матрикс для тканевой инженерии в кардиохирургии. Способность коллагена формировать трехмерные цепи, имитирующие структуру внеклеточного матрикса миокарда и сосудистой стенки, обуславливает его уникальные свойства: низкую иммуногенность, высокую биосовместимость и регулируемые механические характеристики. В последние годы достигнуты многообещающие результаты в создании коллагенсодержащих тканеинженерных протезов кровеносных сосудов, инъекционных гидрогелей для регенерации миокарда и клеточных трансплантатов. Однако широкое клиническое внедрение таких биоматериалов по-прежнему ограничено проблемами стандартизации промышленного производства и контроля скорости их деградации *in vivo* [9].

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ФОРМЫ ГЕМОСТАТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА КОЛЛАГЕН-ХИТОЗАНОВОЙ ОСНОВЕ

Несмотря на широкое разнообразие доступных гемостатических средств, создание универсальных биоматериалов остается сложной научно-прак-

тической задачей. Современные разработки направлены на получение материалов, сочетающих высокую гемостатическую активность, биосовместимость, контролируемую биодеградацию и удобство применения в условиях экстренной помощи, при минимизации риска отдаленных тканевых осложнений [27].

В последние десятилетия особое внимание исследователей привлекает хитозан. Его высокий гемостатический потенциал обусловлен способностью индуцировать агрегацию эритроцитов, обеспечивать адгезию и активацию тромбоцитов, а также взаимодействовать с белками плазмы крови [10, 27, 28]. Ключевыми параметрами, определяющими биологическую активность хитозана, служат степень деацетилирования, молекулярная масса и характер химической модификации. При этом именно направленная химическая модификация рассматривается как наиболее эффективный инструмент для усиления нативных гемостатических свойств полимера [29].

К критическим недостаткам хитозана относятся низкая адгезия во влажной среде и ограниченная растворимость при нейтральных значениях pH. Преодолеть эти ограничения позволяет модификация хитозана катехоловыми группами, имитирующими структуру 3,4-дигидроксифенилаланина (DOPA) — ключевого компонента адгезивных белков мидий. Данная стратегия позволяет создавать материалы с высокой адгезивной способностью к влажным тканям при сохранении низкой цитотоксичности и выраженных гемостатических характеристик [30].

Дальнейшее повышение эффективности локального гемостаза достигается путем конструирования композитов, объединяющих хитозан с синтетическими полимерами и антифибринолитиками. Примером служит композитная губка PLGA-CTS-TXA, полученная путем сополимеризации поли(молочно-гликолевой кислоты) (PLGA) и транексамовой кислоты (TXA) с хитозаном (CTS). Данный материал характеризуется высокой пористостью (около 85,0 %), исключительной водопоглощающей способностью (3197 ± 105 % за 30 с), биосовместимостью (индекс гемолиза $< 1,2$ %; относительный объем эритроцитов, RCV > 125 %), а также низким индексом свертывания (12,4 %). Эффективность PLGA-CTS-TXA

доказана на моделях травмы печени у мышей и крыс, где время остановки кровотечения составило менее 30 с. Механизм действия композиции включает синергетическую модуляцию агрегации форменных элементов крови и ингибирование фибринолиза [31].

Другим многообещающим направлением служит модификация бета-хитозановых пластырей полиэтиленоксидом, сополимером Pluronic F-127 (состав Chi/F127), кальцием (Chi/20%Ca) или полифосфатом (Chi/PP). На моделях сосудистых и нейрохирургических повреждений у крыс линии Wistar Albino данные композиции продемонстрировали превосходную гемостатическую активность. Так, время гемостаза при использовании Chi/PP (117,3 с) оказалось статистически значимо ниже, чем при применении коммерческих аналогов Floseal® (174,2 с) и Surgicel® (172,7 с), и сопоставимо с показателем немодифицированного хитозанового пластыря (120,8 с; $p < 0,05$). Важно отметить, что последующее гистопатологическое исследование не выявило воспалительных реакций в ткани головного мозга, что подтверждает безопасность всех протестированных соединений [32].

С целью создания материалов с пористой слоистой структурой, обеспечивающей эластичность и быстрое впитывание экссудата, активно разрабатываются аэрогели на основе оксида графена, хитозана и силиката кальция. Данные аэрогели демонстрируют высокую гемостатическую эффективность как *in vitro*, так и *in vivo*, существенно превосходя марлевые повязки. Эффект материала реализуется за счет сочетанного механизма: инициации первичного гемостаза и активации внутреннего пути каскада свертывания крови под действием ионов Ca^{2+} и силикат-анионов. Дополнительными преимуществами композиции являются выраженные антибактериальные и противовоспалительные свойства, обеспечивающие качественную регенерацию инфицированных ран к 14-м суткам наблюдения [33].

Помимо аэрогелей, активно разрабатываются гемостатические губки со стабильной пространственной структурой и высокими упруго-эластическими свойствами. Их получают путем ковалентной сшивки хитозана (CS), оксида графена (GO) и дубильной (танниновой) кислоты (TA) с помощью

системы карбодиимидной активации EDC/NHS. Губки CS/GO/TA устойчивы в водных растворах и обладают способностью к полному восстановлению формы после сжатия (высокой формоустойчивостью). Эксперименты *in vitro* подтвердили, что данные материалы цитосовместимы, не вызывают гемолиза, стимулируют адгезию форменных элементов крови, а также обладают выраженными антибактериальными и антиоксидантными свойствами. Эффективность губок в быстром купировании кровотечений и стимуляции регенерации тканей была доказана в исследованиях *in vivo* на моделях у крыс [34].

Как отмечалось ранее, другим важнейшим природным биополимером для гемостаза является коллаген. В последние годы значительные успехи достигнуты в создании комбинированных коллаген-хитозановых материалов, сочетание которых позволяет объединить преимущества обоих полимеров и нивелировать их индивидуальные недостатки [9, 10]. Коллаген, обладая превосходными регенераторными свойствами, лишен антибактериальной активности, что делает его неэффективным для предотвращения раневой инфекции. Для решения этой проблемы перспективным направлением признана разработка коллаген-хитозановых губок методом лиофилизации с использованием бикарбоната натрия в качестве гелеобразующего агента. Полученная композитная губка продемонстрировала высокую биосовместимость, стимулируя пролиферацию мышечных фибробластов линии L929 статистически значимо лучше, чем изолированная хитозановая губка ($p < 0,0001$) и хитозан-бикарбонатный аналог ($p < 0,05$). На модели плоскостного кровотечения из раны спины у крыс разработанный материал проявил выраженную антибактериальную активность в отношении *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli*, высокий гемостатический потенциал, а также способность индуцировать ангиогенез и неоколлагеногенез в раневом ложе [11].

Еще одним перспективным направлением модификации гемостатиков служит разработка лиофилизированных раневых повязок на основе коллагена (экстрагированного из тканей лошадей или свиней) и волокнистой карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ). До-

бавление КМЦ позволяет практически удвоить абсорбционную способность коллагеновых матриксов, сохраняя при этом оптимальное время свертывания крови. На модели частичной нефрэктомии у крыс композит на основе конского коллагена и КМЦ продемонстрировал более высокую гемостатическую эффективность по сравнению с коммерческим аналогом Tachosil® [35].

В свою очередь, создание композитов коллагена с курдианом или дрожжевым β -глюканом позволяет не только повысить его гемостатический потенциал, но и обеспечить структурную стабильность, а также улучшить механические характеристики губчатой формы материала. Включение курдиана (бактериального β -глюкана) в состав коллагеновых губок существенно повышает их пористость, водопоглощение, эластичность и устойчивость к ферментативной деградации. Тесты на цитотоксичность и гемолиз *in vitro* подтвердили высокую биосовместимость и безопасность модифицированных губок. На моделях перфорации и плоскостного разреза печени у мышей полученные образцы обеспечивали быстрый гемостаз — за 67 и 75 с соответственно, значительно превосходя по эффективности марлевые повязки и изолированную желатиновую губку, а также ускоряли заживление кожных дефектов [36].

Аналогичные результаты были получены при комбинировании коллагена с β -глюканом, выделенным из клеточной стенки дрожжей (YG), который представляет собой эластичный полисахарид с тройной спиральной структурой. Полученный материал обладает однородной пористой структурой, повышенной эластичностью и способностью к восстановлению исходной формы по сравнению с нативными коллагеновыми губками. В тестах *in vitro* комбинированные губки (CY-губки) продемонстрировали значительно более низкий индекс коагуляции по сравнению с контрольным коллагеном (19,21 % против 64,84 %), а также высокую адгезию эритроцитов (64,64 %) и тромбоцитов (64,95 %). В исследованиях *in vivo* добавление дрожжевого глюкана привело к снижению объема кровопотери на 25,26–28,97 % и сокращению времени гемостаза на 30,77–31,70 % относительно чистого коллагена [37].

Немаловажным направлением является разработка гемостатических ма-

териалов в удобных для клинического применения формах, в частности на основе микрофибрилярного коллагена (МФК). Текущие (инъекционные) системы доставки модифицированного порошка МФК обеспечивают более точную аппликацию и равномерное покрытие поврежденных тканей по сравнению с сухими порошковыми формами. На доклинических моделях повреждения паренхиматозных органов (субкапсулярная резекция печени у свиней) и спинного мозга (дорсальная ламинэктомия и дуротомия у овец) текучая форма МФК продемонстрировала 100-процентную гемостатическую эффективность. Данный показатель был сопоставим с эффективностью исходного порошка и статистически значимо превосходил результаты применения марлевых повязок (8,0–42,0 %; $p < 0,05$). Долгосрочные гистоморфологические исследования (с периодом наблюдения до 120 суток) подтвердили высокую безопасность данной формы доставки [38].

Одним из последних достижений в области биомиметических стратегий стало создание биоактивной гемостатической губки с эффектом памяти формы на основе биомиметических коллагеновых фибрилл (BCF) и окисленного альгината натрия (ОА). В качестве структурирующего агента в материале использована система медленного гелеобразования (CaCO_3 -GDL) с эффектом памяти формы. Разработка ориентирована на экспресс-гемостаз и стимуляцию регенерации при неконтролируемых паренхиматозных кровотечениях. Оптимизированная губка BCF/OA-Ca эффективно абсорбирует кровь и полностью восстанавливает исходную структуру после сжатия за $11,2 \pm 1,3$ с, обеспечивая механическую obturation дефекта. Одновременно с этим материал ускоряет физиологический каскад коагуляции за счет индуцированной фибриллами BCF адгезии и активации тромбоцитов, а также за счет высвобождения ионов Ca^{2+} . На моделях повреждения печени у крыс разработанный композит превосходил коммерческие губки из поливинилового спирта (ПВА) как по объему кровопотери, так и по времени гемостаза. Кроме того, материал стимулировал миграцию и дифференцировку фибробластов, обладал оптимальной скоростью биodeградации, низкой иммуногенностью и способствовал формиро-

ванию полноценной грануляционной ткани [39].

ОБСУЖДЕНИЕ

Неэффективный интраоперационный гемостаз остается критическим фактором хирургического риска. Он определяет не только длительность и исход оперативного вмешательства, но и сопряжен с угрозой развития массивной кровопотери, коагулопатии, геморрагического шока, тяжелых отдаленных осложнений и летальных исходов [40, 41].

Дополнение традиционных методов хирургической остановки кровотечения биополимерными материалами на основе коллагена и хитозана представляет собой эффективный, физиологичный и патогенетически обоснованный подход. Применение таких локальных агентов позволяет быстро и надежно купировать кровотечение, снизить интенсивность болевого синдрома, предотвратить развитие раневой инфекции и стимулировать регенераторные процессы. Конструирование композитных материалов на основе хитозана и коллагена открывает новые возможности для нивелирования индивидуальных недостатков каждого полимера и достижения синергетического эффекта. В подобных композициях успешно сочетаются высокая биосовместимость, контролируемая биодеградация и гемостатический потенциал обоих полимеров, при этом коллаген обеспечивает форсирование регенерации тканей, а хитозан привносит выраженные антибактериальные, фунгистатические и анальгетические свойства [42].

Широкий спектр доступных форм — от пористых эластичных губок с высокой абсорбционной способностью до инъекционных гидрогелей и нановолокон — позволяет реализовать персонализированный подход в каждом клиническом случае. Внедрение таких инновационных систем во все направления хирургической практики способно обеспечить принципиально новый уровень оказания как экстренной, так и плановой специализированной медицинской помощи [43, 44].

На основании анализа литературных источников установлено, что наибольшую гемостатическую эффективность среди композитных материалов демонстрируют хитозан-полифосфатные пластыри (Chi/PP) и коллаген- β -глюкановые губки (CY-губки). Применение

Chi/PP обеспечивает минимальное время гемостаза (117,3 с против 174,2 с у Floseal®) при отсутствии воспалительных реакций в ткани головного мозга. Использование CY-губок позволяет снизить объем кровопотери на 25,0–29,0 % и сократить время гемостаза на 31,0–32,0 % по сравнению с нативным коллагеном. Среди композитов с программируемыми свойствами наиболее эффективными и безопасными признаны гидрогели с эффектом памяти формы (BCF/OA-Ca). Они способны восстанавливать исходную структуру после сжатия за $11,2 \pm 1,3$ с, превосходя коммерческие аналоги как по объему кровопотери, так и по времени гемостаза. Таким образом, модификация хитозана полифосфатами и коллагена β -глюканами является наиболее перспективным направлением, обеспечивающим синергизм гемостатического, антимикробного и регенераторного действия.

Однако необходимо подчеркнуть, что, несмотря на впечатляющие достижения последних лет, разработка идеального локального гемостатика нового поколения все еще остается актуальной задачей. Ограничения существующих средств обусловлены риском цитотоксичности, недостаточной скоростью биодеградации, низкой адгезией к влажным тканям или субоптимальной эффективностью в критических клинических ситуациях. В связи с этим создание multifunctional композитных гемостатических материалов с программируемыми свойствами, обеспечивающих контролируемое высвобождение вспомогательных биоактивных компонентов (в том числе посредством направленных молекулярных механизмов), признано одной из приоритетных целей современной регенеративной медицины [45].

Результаты данного аналитического обзора сопоставимы с данными ранее опубликованных работ, однако обладают рядом принципиальных отличий, определяющих научную новизну исследования. Так, в отличие от обзора W. Zhang и соавт. (2024) [1], сфокусированного преимущественно на хитозановых повязках в общемедицинском контексте, настоящая работа включает сравнительный анализ хитозан- и коллагенсодержащих материалов одновременно в трех хирургических дисциплинах (абдоминальной, сердечно-сосудистой хирургии и нейрохирургии).

Преимуществом такого мультидисциплинарного подхода служит выявление специфических требований к гемостатикам в каждой области применения: в нейрохирургии критически важным критерием является отсутствие отдаленных осложнений в виде эпидурального фиброза, гранулематоза и нейродегенерации; в абдоминальной хирургии на первый план выходят антиадгезивные свойства материалов для предотвращения спаечного процесса в брюшной полости; в сердечно-сосудистой хирургии необходимы совместимость гемостатиков с системами искусственного кровообращения, а также потенциал применения коллагена в качестве матрикса для тканевой инженерии при лечении кардиоваскулярной патологии.

В отличие от работы Y. Guo и соавт. (2023) [6], авторы которой систематизировали гемостатические средства в целом (включая синтетические полимеры и неорганические соединения), настоящий аналитический обзор сфокусирован исключительно на материалах на основе хитозана и коллагена. Это позволило детально рассмотреть как их изолированное применение, так и синергетические эффекты, достигаемые при их комбинировании. Кроме того, в данной работе впервые обобщены и сопоставлены результаты модификации биополимеров полифосфатами (Chi/PP), β -глюканами, оксидом графена и транексамовой кислотой, что открывает возможность для объективной оценки различных стратегий направленного химического синтеза. Таким образом, представленный обзор расширяет существующие представления в данной области благодаря комплексному анализу эффективности композитных гемостатиков на основе хитозана и коллагена в различных хирургических дисциплинах, а также критической оценке риска развития отдаленных тканевых осложнений. Данный подход определяет высокую научную новизну и практическую ценность проведенного исследования.

Ограничения обзора

Настоящий обзор имеет ряд методологических ограничений, которые необходимо учитывать при интерпретации представленных данных:

- Дефицит клинических данных. В анализируемой выборке преобладают

обзорные и экспериментальные работы: из 45 включенных источников 27 (60,0 %) представлены обзорами литературы, а 18 (40,0 %) — исследованиями *in vivo* на животных. Полное отсутствие РКИ и данных о применении материалов у человека на текущем этапе ограничивает прямую экстраполяцию результатов на клиническую практику и диктует необходимость проведения полноценных клинических испытаний.

- Высокая гетерогенность дизайнов исследований. Дизайны доклинических работ существенно различались по характеру моделей повреждения, используемым биологическим видам животных и степени стандартизации условий эксперимента. Данный фактор значительно затрудняет прямое сопоставление количественных показателей эффективности гемостатических материалов.

- Ограниченный период наблюдения. В большинстве экспериментальных работ оценивали преимущественно краткосрочные эффекты. Лишь в единичных исследованиях авторы осу-

ществляли долгосрочный гистологический контроль (свыше 90 суток). Это не позволяет в полной мере оценить риски развития таких отдаленных осложнений, как избыточный фиброз, гранулематозные реакции и нейродегенерация, критически важных для нейрохирургической практики.

- Отсутствие стандартизированных критериев оценки. В проанализированных экспериментальных работах отсутствовал единый методологический подход к оценке гемостатической эффективности. Исследователи применяли принципиально разные методики измерения времени гемостаза и объема кровопотери, что создает дополнительные препятствия для метааналитического обобщения данных.

- Риск систематической ошибки. Согласно оценке по инструменту SYRCLE's RoB, для включенных экспериментальных исследований характерен высокий риск систематической ошибки. Он обусловлен преимущественно селективностью отчетности (высокий риск зафиксирован в 75,0 %

работ) и отсутствием ослепления исследователей (62,5–66,7 %).

Указанные ограничения характерны для доклинического этапа исследований в целом. Они были полностью учтены при формулировке финальных выводов и не снижают теоретической и практической ценности настоящего обзора как системы обобщения современных подходов к разработке гемостатических материалов нового поколения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Композитные материалы на основе хитозана и коллагена представляют собой перспективное направление в разработке местных гемостатических средств нового поколения.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Zhang W, Geng X, Qin S, Xie Z, Li W, Li J. Research progress and application of chitosan dressings in hemostasis: a review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024; 282(1):136421. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.136421.
- Shao H, Wu X, Xiao Y, Yang Y, Ma J, Zhou Yet al. Recent research advances on polysaccharide-, peptide-, and protein-based hemostatic materials: a review. *Int J Biol Macromol*. 2024;261(Pt 1):129752. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.129752.
- Guo Y, Cheng N, Sun H, Hou J, Zhang Y, Wang D, et al. Advances in the development and optimization strategies of the hemostatic biomaterials. *Front Bioeng Biotechnol*. 2023;10:1062676. DOI: 10.3389/fbioe.2022.1062676.
- Liu Z, Xu Y, Su H, Jing X, Wang D, Li S, et al. Chitosan-based hemostatic sponges as new generation hemostatic materials for uncontrolled bleeding emergency: Modification, composition, and applications. *Carbohydr Polym*. 2023;311:120780. DOI: 10.1016/j.carbpol.2023.120780.
- Xia Y, Yang R, Wang H, Li Y, Fu C. Application of chitosan-based materials in surgical or postoperative hemostasis. *Frontiers in Materials*. 2022; 9:994265. DOI: 10.3389/fmats.2022.994265.
- Guo Y, Wang M, Liu Q, Liu G, Wang S, Li J. Recent advances in the medical applications of hemostatic materials. *Theranostics*. 2023; 13(1):161-196. DOI:10.7150/thno.79639.
- Notario-Pérez F, Martín-Illana A, Cazorla-Luna R, Ruiz-Caro R, Veiga MD. Applications of chitosan in surgical and post-surgical materials. *Marine Drugs*. 2022; 20:396. DOI:10.3390/MD20060396.
- Cisternas MA, Varaprasad K. Chitosan-based biomaterials for hemostasis and wound healing. In: *Chitosan for Biomaterials V. Advances in Polymer Science*. Vol. 295. Springer, Cham, 2024. 367-401. DOI: 10.1007/12_2024_179.
- Zuo X, Xiao Y, Yang J, He Y, He Y, Liu K, et al. Engineering collagen-based biomaterials for cardiovascular medicine. *Collagen and Leather*. 2024; 6(1): 33. DOI: 10.1186/s42825-024-00174-6.
- Xu H, Liu Y, Qiu L, Mangue ALM M, Zhang J, Wei B, et al. Preparation and application of collagen-based hemostatic materials: a review. *Collagen and Leather*. 2025; 7(1.):11. DOI: 10.1186/s42825-025-00193-x.
- Zhu H, Lin Z, He R, Pan J, Liu X, He X, Zhang J. Antibacterial and hemostatic properties of chitosan collagen sponge. *Chinese Journal of Tissue Engineering Research*. 2023; 27(16):2525–2533. DOI: 10.12307/2023.463.
- Guo Y, Zhao X, Wang Y, Zhou J, Lu T, Luo G, Zhan R. Injectable hemostatic foam hydrogel for traumatic intra-abdominal hemorrhage. *Materials Today Bio*. 2025; 2025:102364. DOI: 10.1016/j.mtbio.2025.102364.
- Alzhanov Y. Modern hemostatic sponges for parenchymal bleeding: composition, mechanisms of action, and clinical effectiveness. A literature review. *Traumatology and Orthopaedics of Kazakhstan*. 2025. 6 (76):jto033. DOI: 10.52889/1684-9280-2025-76-6-jto033.
- Jiang Y, Tang X, Li T, Ling J, Ge Y, Yang Y. Chitosan lactate particles for non-compression hemostasis on hepatic resection. *Polymers*. 2023; 15(3): 656.
- Li Z, Zhao Y, Ouyang X, Yang Y, Chen Y, Luo Q, et al. Biomimetic hybrid hydrogel for hemostasis, adhesion prevention and promoting regeneration after partial liver resection. *Bioactive Materials*. 2022; 11:41–51. DOI: 10.1016/j.bioactmat.2021.10.001.
- Sánchez del Valle FJ, Sánchez-Seco MI, Garófano J. A comparative analysis of collagen based dressings and polysaccharide microspheres for hemostasis management in hepatic stab wounds. *Scientific reports*. 2025; 15:3802. DOI:10.1038/s41598-024-84721-5.

17. Ma L, Gu F, Hu J, Wang X, Yang YW. Hydrogel adhesives for upper gastrointestinal wound healing. *Theranostics*. 2026; 16(5):2221–2248. DOI:10.7150/thno.124843.
18. Bian D, Chen Z, Ouyang Y, Wang S, Wang M, Chen W. Ultrafast self-gelling, sprayable, and adhesive carboxymethyl chitosan/poly-γ-glutamic acid/oxidized dextran powder for effective gastric perforation hemostasis and wound healing. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024; 254(3): 127960. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.127960.
19. Le Huec JC, AlEissa S, Bowey AJ, Debono B, El-Shawarbi A, Fernández-Baillo N, et al. Hemostats in spine surgery: literature review and expert panel recommendations. *Neurospine*. 2022; 19(1):1–12. DOI:10.14245/ns.2143196.598.
20. Shen F, Ding J, Wang Y, Yin C, Han Z, Ren X, et al. Topical hemostatic agents in spinal surgery. *The Spine Journal*. 2024; 24(6):933–946. DOI: 10.1016/j.spinee.2024.01.003.
21. Horizon BME. Opportunities and challenges of adhesive hemostatic hydrogels in spinal surgery. *Science Exploration Press*. 2025; 3(3): DOI:10.70401/BMEH.2025.0007.
22. Dong Z, Zhao J, Xu J, Deng W, Sun P. Strongly adhesive, self-healing, hemostatic hydrogel for the repair of traumatic brain injury. *Biomacromolecules*. 2024; 25(4):2462–2475. DOI: 10.1021/acs.biomac.3c01406.
23. Casto F, Villaescusa M, Jungberg E, Saavedra Azcona T, Lanusse D, Plou P, et al. Efficacy of topical hemostatic agents in neurosurgery: An experimental study in a rat model. *Surgical Neurology International*. 2025; 16:148. DOI: 10.25259/SNI_791_2024.
24. Mascarenhas AR, VEDIAPPAN RS, Jukes AK, Bouras G, Kaukas LM, Chryssidis S, et al. Haemostatic efficacy and inflammatory response of a novel beta-chitin patch in a cerebral small vessel injury model – a pilot study. *Journal of Clinical Neuroscience*. 2023; 114: 70–76. DOI 10.1016/j.jocn.2023.06.001.
25. Moldovan H, Antoniac I, Gheorghita D, Safta MS, Preda S, et al. Biomaterials as haemostatic agents in cardiovascular surgery: review of current situation and future trends. *Polymers*. 2022; 14(6):1189. DOI: 10.3390/polym14061189.
26. Santos RN, Cardoso GBC, Cunha MR, Marchi E, Carvalho MVH. Experimental evaluation of chitosan membrane and collagen sponge (TachoSil®) as sealants in cardiovascular surgery. *Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery*. 2022; 37(2):176–184. DOI: 10.21470/1678-9741-2020-0420.
27. Zaldivar D. Chitosan-based hemostatic hydrogels: the concept, mechanism, application, and prospects. *Molecules*. 2023; 28(3):1473. DOI: 10.3390/molecules28031473.
28. Zhang S, Lei X, Lv Y, Wang L, Wang LN. Recent advances of chitosan as a hemostatic material: hemostatic mechanism, material design and prospective application. *Carbohydr Polym*. 2024;327:121673. DOI: 10.1016/j.carbpol.2023.121673.
29. Lunkov AP, Zubareva AA, Varlamov VP, Nechaeva AM, Drozd NN. Chemical modification of chitosan for developing of new hemostatic materials: a review. *Int J Biol Macromol*. 2023;253(Pt 8):127608. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.127608.
30. Cui G, Guo X, Deng L. Preparation strategies of mussel-inspired chitosan-based biomaterials for hemostasis. *Frontiers in Pharmacology*. 2024;15: 1439036. DOI: 10.3389/fphar.2024.1439036.
31. Zhu Y, Chen T, Wan X, Zhu G, Chen Z, Yang Z, et al. Fabrication of PLGA-chitosan-tranexamic acid composite sponge and its mechanism for rapid hemostasis. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2025; 314: 144296. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2025.144296.
32. Ahad S, VEDIAPPAN RS, Finnie J, McAdam CJ, Jukes A, Vreugde S, et al. Efficacy and safety of novel beta-chitin patches as haemostat in rat vascular and neurosurgical model. *Frontiers in Surgery*. 2022; 9:830364. DOI: 10.3389/fsurg.2022.830364.
33. Xue J, Zheng Y, Yang Z, Huang J, Ma W, Huan Z, et al. Graphene Oxide/Chitosan/Calcium Silicate Aerogels for hemostasis and infectious wound healing. *Regenerative Medicine and Dentistry*. 2025; 2(2):8. DOI:10.53941/rmd.2025.100008.
34. Cao S, Xu G, Li Q, Zhang S, Yang Y, Chen J. Double crosslinking chitosan sponge with antibacterial and hemostatic properties for accelerating wound repair. *Composites. Part B: Engineering*. 2022; 234(3):109746. DOI: 10.1016/j.compositesb.2022.109746.
35. Sedlář M, Kacvinská K, Fohlerová Z, Izsák D, Chalupová M, Suchý P, et al. A synergistic effect of fibrous carboxymethyl cellulose with equine collagen improved the hemostatic properties of freeze-dried wound dressings. *Cellulose*. 2023; 30(17):11113–11131. DOI: 10.1007/s10570-023-05499-9.
36. Huang Z, Chen H, Wang Y, Xiao T, Guo T, Ren Z, et al. Collagen/curdlan composite sponge for rapid hemostasis and skin wound healing. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024; 273(1):133032. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.133032.
37. Chen H, Wang Y, Huang Z, Xiao T, Guo T, Wang Y, et al. Elastic and recoverable sponges based on collagen/yeast β-glucan for quick hemostasis. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024; 282(4): 137095. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2024.137095.
38. Lake SP, Bradbury K, Gagne DH, Deeken CR, Badhwar A, Bohnen A. Efficacy of flowable collagen hemostat evaluated in preclinical models of liver injury and spinal cord exposure. *Medical Devices: Evidence and Research*. 2023; 16: 123–132. DOI: 10.2147/MDER.S411735.
39. Zhang X, Yang C, Zeng X, Li G. A bioactive composite sponge based on biomimetic collagen fibril and oxidized alginate for noncompressible hemorrhage and wound healing. *Carbohydrate Polymers*. 2024; 343:122409. DOI: 10.1016/j.carbpol.2024.122409.
40. Mecwan M, Li J, Falcone N, Ermis M, Torres E, Morales R, et al. Recent advances in biopolymer-based hemostatic materials. *Regenerative Biomaterials*. 2022; 9:rbac063. DOI:10.1093/rb/rbac063.
41. Gheorghita D, Moldovan H, Robu A, Bița AI, Grosu E, Antoniac A, et al. Chitosan-based biomaterials for hemostatic applications: a review of recent advances. *International journal of molecular sciences*. 2023; 24(13):10540. DOI: 10.3390/ijms241310540.
42. Cassano R, Perri P, Scarcello E, Piro P, Sole R, Curcio F, et al. Chitosan hemostatic dressings: properties and surgical applications. *Polymers*. 2024; 16(13): 1770. DOI: 10.3390/polym16131770.
43. Guo Y, Xie X, Li J, Yao S. Recent advances in natural polysaccharide-based hemostatic sponges: a review. *Polysaccharides*. 2025; 6(2):25. DOI: 10.3390/polysaccharides6020025.
44. Su J, Liu C, Sun A, Yan J, Sang F, Xin Y, et al. Hemostatic and antimicrobial properties of chitosan-based wound healing dressings: a review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2025; 306(2):141570. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2025.141570.
45. Fang Ya, Guo W, Ni P, Liu H. Recent research advances in polysaccharide-based hemostatic materials: a review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024; 271: 132559. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.132559.

Сведения об авторах:

Пьяных Анастасия Алексеевна — студентка 5-го курса лечебного факультета ФГБОУ ВО КГМУ Минздрава России; ул. К. Маркса, д. 3, г. Курск, Россия, 305041. <https://orcid.org/0009-0008-5007-1567>. E-mail: anastasia.pn2004@gmail.com

Иванов Илья Сергеевич — д.м.н., профессор заведующий кафедрой хирургических болезней № 1 ФГБОУ ВО КГМУ Минздрава России; ул. К. Маркса, д. 3, г. Курск, Россия, 305041. <https://orcid.org/0000-0003-4408-961X>. E-mail: ivanov.is@mail.ru

Объедков Евгений Геннадьевич (автор для переписки) — к.м.н., доцент кафедры хирургических болезней № 1 ФГБОУ ВО КГМУ Минздрава России; ул. К. Маркса, д. 3, г. Курск, Россия, 305041. <https://orcid.org/0000-0003-0566-1476>. E-mail: evgenij-obedkov@yandex.ru

Липатов Вячеслав Александрович — д.м.н., профессор, проректор по научной работе и инновационному развитию ФГБОУ ВО КГМУ Минздрава России; ул. К. Маркса, д. 3, г. Курск, Россия, 305041. <https://orcid.org/0000-0001-6121-7412>. E-mail: professor@va-lipatov.ru

Объедкова Наталья Юрьевна — ассистент кафедры поликлинической терапии и общей врачебной практики ФГБОУ ВО КГМУ Минздрава России; ул. К. Маркса, д. 3, г. Курск, Россия, 305041. <https://orcid.org/0000-0003-2072-5511>. E-mail: lewis77@yandex.ru

Клименко Артём Евгеньевич — врач-ординатор по направлению «онкология» МНИОИ им. П.А. Герцена — филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России; 2-й Боткинский проезд, д. 3, Москва, Россия, 125284. <https://orcid.org/0009-0008-6281-652X>. E-mail: artem25.85@mail.ru

Статья поступила в редакцию 04.05.2026

Рецензирование пройдено 03.07.2026

Подписано в печать 31.08.2026

Information about authors:

Pyanykh Anastasia Alekseevna — 5th-year student, faculty of general medicine, Kursk State Medical University, K. Marksa St., 3, Kursk, Russia, 305041. <https://orcid.org/0009-0008-5007-1567>. E-mail: anastasia.pn2004@gmail.com

Ivanov Ilya Sergeyevich — MD, PhD, professor, head of department of surgical diseases No. 1, Kursk State Medical University, K. Marksa St., 3, Kursk, Russia, 305041. <https://orcid.org/0000-0003-4408-961X>. E-mail: ivanov.is@mail.ru

Obyedkov Evgeny Gennadyevich (corresponding author) — candidate of medical sciences, associate professor, department of surgical diseases No. 1, Kursk State Medical University, K. Marksa St., 3, Kursk, Russia, 305041. <https://orcid.org/0000-0003-0566-1476>. E-mail: evgenij-obedkov@yandex.ru

Lipatov Vyacheslav Aleksandrovich — MD, PhD, professor, vice-rector for scientific work and Innovative development of Kursk State Medical University, K. Marksa St., 3, Kursk, Russia, 305041. <https://orcid.org/0000-0001-6121-7412>. E-mail: professor@va-lipatov.ru

Obyedkova Natalya Yurievna — assistant, department of outpatient therapy and general medical practice, Kursk State Medical University, K. Marksa St., 3, Kursk, Russia, 305041. <https://orcid.org/0000-0003-2072-5511>. E-mail: lewis77@yandex.ru

Klimenko Artyom Yevgenyevich — medical resident (oncology), P.A. Herzen Moscow Oncology Research Institute — branch of the National Medical Research Radiological Centre; 2nd Botkinsky Proyezd, 3, Moscow, Russia, 125284. <https://orcid.org/0009-0008-6281-652X>. E-mail: artem25.85@mail.ru

Received 04.05.2026

Review completed 03.07.2026

Passed for printing 31.08.2026



ПОСТТРАВМАТИЧЕСКИЕ ИНФЕКЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ: РАЗЛИЧИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ И ЛЕЧЕБНЫХ ПОДХОДОВ В СРАВНЕНИИ С ПЕРВИЧНЫМИ И ВТОРИЧНЫМИ НЕТРАВМАТИЧЕСКИМИ НЕЙРОИНФЕКЦИЯМИ

POST-TRAUMATIC CENTRAL NERVOUS SYSTEM INFECTIONS: DIFFERENCES IN DIAGNOSTIC AND THERAPEUTIC APPROACHES COMPARED TO PRIMARY AND SECONDARY NON-TRAUMATIC NEUROINFECTIONS

Кан С.Л. Устьянцева И.М.
Шеметов А.В. Хохлова З.А.

Kan S.L. Ustyantseva I.M.
Shemetov A.V. Khokhlova Z.A.

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Кемерово, Россия,

Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russia,

Новокузнецкий государственный институт усовершенствования врачей — филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, г. Новокузнецк, Россия

Novokuznetsk State Institute for Postgraduate Medical Education — branch of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Novokuznetsk, Russia

Нейроинфекции представляют собой гетерогенную группу заболеваний центральной нервной системы (ЦНС). Ключевым классификационным признаком является их разделение на первичные (с изначальным поражением ЦНС) и вторичные (развивающиеся на фоне сопутствующего инфекционного очага или травмы). Среди вторичных форм особое место занимают инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи.

Цель исследования — провести сравнительный анализ эпидемиологии, методов диагностики, стратегий лечения и прогнозов при первичных и вторичных нейроинфекциях с детальным рассмотрением посттравматических, нетравматических и нозокомиальных вариантов.

Материалы и методы. Выполнен обзор литературы за период 2021–2026 гг. с использованием баз данных PubMed, Scopus, Cochrane Library, eLibrary и CyberLeninka. Отобрано 45 источников.

Результаты. Установлено, что первичные нейроинфекции имеют преимущественно вирусную этиологию, тогда как вторичные обусловлены полимикробной бактериальной флорой с высоким уровнем антибиотикорезистентности. Посттравматические и связанные с медицинской помощью нейроинфекции часто развиваются на фоне ликвореи и ассоциированы с полирезистентными нозокомиальными штаммами. Диагностический алгоритм для вторичных форм требует расширенной нейровизуализации и таргетной ПЦР-диагностики.

Заключение. Вторичные нейроинфекции, особенно посттравматические и нозокомиальные, характеризуются более тяжелым течением, ме-

Neuroinfections constitute a heterogeneous group of central nervous system (CNS) disorders. A key classification criterion distinguishes between primary forms (involving initial CNS involvement) and secondary forms (developing against the background of a concomitant infectious focus or trauma). Among the secondary forms, healthcare-associated infections occupy a significant place.

Objective — to conduct a comparative analysis of the epidemiology, diagnostic methods, treatment strategies, and prognoses associated with primary and secondary neuroinfections, with a detailed examination of post-traumatic, non-traumatic, and nosocomial variants.

Materials and methods. A literature review covering the period 2021–2026 was conducted using the PubMed, Scopus, Cochrane Library, eLibrary, and CyberLeninka databases. Forty-five sources were selected.

Results. It was established that primary neuroinfections are predominantly of viral etiology, whereas secondary forms are caused by polymicrobial bacterial flora exhibiting high levels of antibiotic resistance. Post-traumatic and healthcare-associated neuroinfections often develop in the presence of cerebrospinal fluid (CSF) leakage and are associated with multidrug-resistant nosocomial strains. The diagnostic algorithm for secondary forms requires advanced neuroimaging and targeted PCR diagnostics.

Conclusion. Secondary neuroinfections, particularly post-traumatic and nosocomial ones, are characterized by a more severe clinical course and a

Для цитирования: Кан С.Л., Устьянцева И.М., Шеметов А.В., Хохлова З.А. ПОСТТРАВМАТИЧЕСКИЕ ИНФЕКЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ: РАЗЛИЧИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ И ЛЕЧЕБНЫХ ПОДХОДОВ В СРАВНЕНИИ С ПЕРВИЧНЫМИ И ВТОРИЧНЫМИ НЕТРАВМАТИЧЕСКИМИ НЕЙРОИНФЕКЦИЯМИ //ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2026. № 3. С. 118-129.

Режим доступа: <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/717>

DOI: 10.24412/1819-1495-2026-3-118-129

нее благоприятным прогнозом и требуют мультидисциплинарного подхода к ведению пациентов.

Ключевые слова: нейроинфекции; вторичные нейроинфекции; посттравматический менингит; нозокомиальный менингит; инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи; абсцесс головного мозга; антибиотикорезистентность

Нейроинфекции — одна из ведущих причин летальности и инвалидизации в неврологии, инфектологии и нейрохирургии. Их частота среди госпитализированных пациентов достигает 5–12 % [1–5]. Высокая вариабельность клинических проявлений — от легких менингеальных симптомов до тяжелого септического состояния с угнетением сознания, требующего проведения интенсивной терапии, — диктует необходимость глубокого понимания патогенетических механизмов данной группы заболеваний.

Фундаментальным принципом систематизации нейроинфекций является их разделение на первичные и вторичные [6–8]. При первичных формах инфекционный агент изначально поражает мозговые оболочки и паренхиму центральной нервной системы (ЦНС) [9, 10]. Вторичные нейроинфекции возникают как осложнение уже существующего экстракраниального очага либо вследствие травматического или ятрогенного повреждения барьерных структур [11, 12]. Именно эта категория привлекает все большее внимание исследователей в связи с ростом числа инвазивных нейрохирургических вмешательств, увеличением продолжительности жизни пациентов с иммунодефицитными состояниями и распространением антибиотикорезистентных нозокомиальных штаммов [13–15].

В структуре вторичных нейроинфекций выделяют следующие варианты:

- Посттравматические — развиваются вследствие нарушения целостности костей черепа, твердой мозговой оболочки или кожных покровов при черепно-мозговой травме (ЧМТ) [16–18].

- Нетравматические — возникают при гематогенном или контактном распространении возбудителя из соматических очагов (отиты, синуситы), а также на фоне иммуносупрессии [11, 19, 20].

- Связанные с оказанием медицинской помощи — включают нозокомиальные менингиты и вентикулиты, инфекционные осложнения после нейрохирургических операций (в

том числе плановых), а также инфекции, ассоциированные с наружными желудочковыми дренажами и другими имплантированными устройствами [14, 21, 22].

Цель настоящего обзора — провести сравнительный анализ эпидемиологии, методов диагностики, стратегий лечения и прогнозов при первичных и вторичных нейроинфекциях с детальным рассмотрением посттравматических, нетравматических и нозокомиальных вариантов.

Исследовательские вопросы (PICO)

Для формирования стратегии поиска литературы и систематизации данных были сформулированы исследовательские вопросы в соответствии с методологией PICO:

- P (population / пациенты): взрослые и дети с нейроинфекциями ЦНС.

- I (intervention / вмешательство): диагностические методы (анализ спинномозговой жидкости, нейровизуализация, молекулярно-генетические исследования) и терапевтические стратегии (системная антибактериальная и противовирусная терапия, интратекальное введение препаратов, хирургическое лечение).

- C (comparison / сравнение): клинико-эпидемиологические параллели между первичными (вирусными и бактериальными) и вторичными нейроинфекциями (включая посттравматические, нетравматические контактные, развившиеся на фоне иммуносупрессии и ассоциированные с оказанием медицинской помощи).

- O (outcomes / исходы): различия в этиологической структуре, чувствительности и специфичности диагностических методов, эффективности терапевтических схем, а также показатели летальности и частота резидуального неврологического дефицита.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведен систематизированный поиск литературы в базах данных PubMed/MEDLINE, Scopus, Cochrane Library, eLibrary и CyberLeninka за период 2021–2026 гг. Поисковая страте-

less favorable prognosis, requiring a multidisciplinary approach to patient management.

Keywords: neuroinfections; secondary neuroinfections; post-traumatic meningitis; nosocomial meningitis; healthcare-associated infections; brain abscess; antibiotic resistance

гия включала использование следующих ключевых слов и их комбинаций: «нейроинфекция», «первичная нейроинфекция», «вторичная нейроинфекция», «посттравматический менингит», «нозокомиальный менингит», «абсцесс головного мозга», «ликвор», «ПЦР-диагностика», «интратекальная терапия», «нейровизуализация», «CNS infections», «healthcare-associated meningitis».

Критерии включения: оригинальные исследования (когортные, случай-контроль, рандомизированные контролируемые исследования (РКИ)), систематические обзоры, метаанализы, клинические рекомендации, а также серии клинических случаев (при объеме выборки $n \geq 5$), опубликованные на русском или английском языках в период с 2021 по 2026 г.

Критерии исключения: публикации, предмет которых не относится к нейроинфекциям (аутоиммунные и нейродегенеративные патологии без инфекционного компонента); материалы конференций без полнотекстового доступа; препринты; нерцензируемые работы; описания единичных клинических случаев (при $n < 5$).

Процесс отбора источников. Первоначально в ходе поиска было выявлено 847 записей. После удаления дубликатов ($n = 213$) анализу подверглись 634 работы. На этапе скрининга заголовков и аннотаций исключено 512 публикаций. Полнотекстовый анализ выполнен для 122 статей, из которых 77 были исключены по следующим причинам: отсутствие валидных количественных данных ($n = 34$), несоответствие тематике обзора ($n = 23$), описание единичных случаев ($n = 12$), отсутствие доступа к полному тексту ($n = 8$). В итоговый анализ включено 45 источников.

Оценка методологического качества. Для когортных исследований и работ типа случай-контроль применялась шкала Newcastle-Ottawa Scale (NOS); для диагностических исследований — инструмент QUADAS-2; для РКИ — шкала Cochrane Risk of Bias Tool 2.0. Большинство проанализирован-

ных публикаций (порядка 70 %) характеризовались умеренным или высоким методологическим качеством (оценка ≥ 6 звезд по шкале NOS).

Дизайн обзора. Настоящая работа выполнена в формате нарративного (традиционного) обзора с систематизированным поиском и структурированным изложением материала. Формальный протокол систематического обзора (PRISMA) и количественный метаанализ не использовались, что необходимо принимать во внимание при интерпретации представленных выводов.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЛИТЕРАТУРЫ

Этиологическая структура и механизмы развития нейроинфекций

Первичные нейроинфекции. В современной этиологической структуре первичных нейроинфекций доминируют вирусные агенты, среди которых наиболее значимы вирус простого герпеса 1-го типа, вирус ветряной оспы — опоясывающего герпеса, энтеровирусы и другие [9, 10, 23]. Напротив, первичные бактериальные менингиты (например, менингококковый или пневмококковый) в настоящее время встречаются существенно реже [24, 25].

Вторичные нейроинфекции. Спектр возбудителей при вторичных формах поражения ЦНС вариателен и определяется прежде всего механизмом инфицирования, а также исходным иммунным статусом пациента.

Посттравматические вторичные нейроинфекции. Данная группа закономерно развивается на фоне ЧМТ [6, 7, 12]. Их ключевая микробиологическая особенность — преобладание нозокомиальной полирезистентной микрофлоры: коагулазоотрицательных стафилококков, *Staphylococcus aureus*, грамотрицательных бактерий (*Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*) [13, 21, 26]. Одним из важнейших предрасполагающих факторов служит наличие ликвореи: согласно литературным данным, посттравматический менингит в 31 % случаев ассоциирован с недиагностированным истечением цереброспинальной жидкости [16, 27, 28].

Нетравматические вторичные нейроинфекции. Контактные/риногенные формы возникают при распространении инфекции из

придаточных пазух носа, среднего уха или одонтогенных очагов [11, 20, 29]. Этиологическая структура здесь представлена полимикробными ассоциациями, включающими *Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae*, золотистый стафилококк и анаэробы [29].

Гематогенные формы на фоне иммуносупрессии наблюдаются у наиболее уязвимой категории пациентов: лиц с ВИЧ-инфекцией, а также больных, перенесших трансплантацию органов и тканей [19, 30]. В этих клинических условиях доминируют оппортунистические инфекции: токсоплазмоз головного мозга, криптококковый менингит, цитомегаловирусный энцефалит [19, 31, 32].

Вторичные нейроинфекции, связанные с оказанием медицинской помощи (healthcare-associated). В отдельную, клинически и эпидемиологически значимую группу выделяют постнейрохирургические менингиты и вентрикулиты — осложнения после краниотомий, установки ликворостимулирующих систем, наружных желудочковых дренажей, а также нозокомиальные инфекции, развивающиеся у пациентов отделений реанимации и интенсивной терапии. Последние не всегда сопровождаются явным нарушением анатомических барьеров, однако возникают на фоне критического состояния, длительной искусственной вентиляции легких и катетеризации [14, 21, 22]. Частота инфицирования при использовании наружных желудочковых дренажей достигает 10–15 % [22, 26]. Основными возбудителями выступают *Staphylococcus epidermidis*, золотистый стафилококк, *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae* и энтерококки. При этом более 60 % выделяемых штаммов характеризуются множественной лекарственной устойчивостью (табл. 1) [13, 33, 34].

Сравнительная характеристика диагностических подходов

При первичных и вторичных формах поражения ЦНС необходимы принципиально разные диагностические подходы. Если при первичных бактериальных менингитах классическая триада (клиническая картина, ликворологические показатели и данные визуализации) позволяет верифицировать патологию в кратчайшие сроки, то при вторичных процессах — особенно

посттравматических, контактных или развивающихся на фоне иммуносупрессии — поиск возбудителя и верификация очага нередко превращаются в сложный многоступенчатый процесс.

Клиническая картина

Для **первичных бактериальных нейроинфекций (менингококковый, пневмококковый менингит)** характерно поистине молниеносное начало: на фоне полного благополучия внезапно развивается высокая лихорадка, изнуряющая головная боль, быстро присоединяются менингеальные знаки, стремительно нарастает угнетение сознания, а нередко — и геморрагическая сыпь [24, 25]. Совершенно иначе выглядит клиническая картина при **вторичных посттравматических нейроинфекциях**: в данном случае симптомы инфекции часто маскируются проявлениями самой ЧМТ, а лихорадка и ухудшение неврологического статуса порой оказываются единственными признаками развивающегося осложнения [12, 18].

Вторичные нетравматические контактные формы (отогенные, риногенные) чаще всего дебютируют с обострения хронического отита или синусита. Лишь спустя некоторое время к клинической картине присоединяется менингеальная симптоматика, что нередко затрудняет своевременную дифференциальную диагностику и определение первопричины процесса [11, 29]. Наиболее сложны для распознавания **вторичные нетравматические нейроинфекции** на фоне иммуносупрессии: их клиническое течение отличается стертой и атипичностью. Менингеальные знаки могут полностью отсутствовать, уступая место общемозговым проявлениям (вялости, спутанности сознания, судорожному синдрому) или очаговым неврологическим дефицитам [19, 30].

Исследование ликвора

Люмбальная пункция остается базовым методом верификации нейроинфекций, а ее диагностическая ценность неоспорима [35, 36]. При **первичных бактериальных менингитах** в цереброспинальной жидкости обнаруживается выраженный нейтрофильный плеоцитоз (достигающий сотен и тысяч клеток в 1 мкл), резкое снижение концентрации глюкозы (менее

Таблица 1

Этиологическая структура и механизмы развития нейроинфекций (адаптировано из [13,14, 21, 22, 26, 33, 34])

Table 1

Etiological structure and mechanisms of development of neuroinfections (adapted from [13, 14, 21, 22, 26, 33, 34])

Тип нейроинфекции Neuroinfection type	Механизм Mechanism	Основные возбудители Main causative agents	Особенности Features
Первичные Primary	Гематогенное проникновение через гематоэнцефалический барьер, транснавально Hematogenous penetration across the blood-brain barrier, transneural route	Преобладают вирусные агенты (вирус простого герпеса 1-го типа, вирус ветряной оспы — опоясывающего герпеса, энтеровирусы). Реже выявляются первичные бактериальные менингиты Viral agents predominate (herpes simplex virus type 1, varicella-zoster virus, enteroviruses). Primary bacterial meningitis is less common.	Острое начало, сезонность, вирусная этиология Acute onset, seasonality, viral etiology
Вторичные посттравматические Secondary posttraumatic	Нарушение барьерных структур (переломы, операции, ликворея) Disruption of barrier structures (fractures, surgeries, cerebrospinal fluid leak)	<i>S. aureus</i> , <i>S. epidermidis</i> , <i>K. pneumoniae</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>A. baumannii</i>	Полирезистентность, нозокомиальные штаммы, рецидивы Multidrug resistance, nosocomial strains, recurrences
Вторичные нетравматические контактные Secondary non-traumatic contact	Прямое распространение из ЛОР-органов Direct spread from ENT organs	<i>S. pneumoniae</i> , <i>H. influenzae</i> , анаэробы <i>S. pneumoniae</i> , <i>H. influenzae</i> , anaerobes	Полимикробный характер, риск абсцедирования Polymicrobial nature, risk of abscess formation
Вторичные нетравматические на фоне иммуносупрессии Secondary non-traumatic at the background of immune suppression	Гематогенное, реактивация латентной инфекции Hematogenous, reactivation of latent infection	<i>T. gondii</i> , <i>C. neoformans</i> , цитомегаловирус, вирус Джона Каннингема, <i>Aspergillus spp.</i> <i>T. gondii</i> , <i>C. neoformans</i> , cytomegalovirus, JC virus, <i>Aspergillus spp.</i>	Атипичная клиника, трудности диагностики Atypical clinical presentation, diagnostic challenges
Связанные с оказанием медицинской помощи Related to the provision of medical care	Нейрохирургические вмешательства, дренажи, искусственная вентиляция легких, катетеризация Neurosurgical interventions, drainage, mechanical ventilation, catheterization	<i>S. epidermidis</i> , метициллин-резистентный золотистый стафилококк, <i>K. pneumoniae</i> , <i>A. baumannii</i> , энтерококки <i>S. epidermidis</i> , methicillin-resistant <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>K. pneumoniae</i> , <i>A. baumannii</i> , enterococci	Высочайший уровень резистентности, биопленки Extremely high level of resistance, biofilms

2,2 ммоль/л или ниже 50% от ее уровня в плазме крови) и значительное повышение содержания белка (свыше 1,0 г/л) при высокой частоте обнаружения патогена методами посева и полимеразной цепной реакции (ПЦР) [24, 25]. При **вторичных посттравматических** изменениях ликвора носят сходный характер, однако существует риск контаминации образца путевой кровью. Наибольшие диагностические трудности возникают при **постнейрохирургическом менингите**, когда воспалительный процесс может иметь асептическую природу. В таких ситуациях информативно определение дополнительных биомаркеров — прокальцитонина, интерлейкинов 6 и 8,

а также гепарин-связывающего белка [21, 37]. У **пациентов с иммуносупрессией** цитоз в ликворе нередко остается невысоким, а идентификация возбудителя возможна лишь с помощью высокочувствительных молекулярно-генетических методов — ПЦР или метагеномного секвенирования [38–40].

Молекулярно-генетическая диагностика

Методы молекулярной верификации приобретают особую значимость при вторичных инфекциях у иммунокомпрометированных больных, а также при отрицательных результатах традиционного культурного ис-

следования. ПЦР цереброспинальной жидкости (включая мультиплексные панели, одновременно определяющие десятки возбудителей) и метагеномное секвенирование следующего поколения (mNGS) позволяют не только идентифицировать патоген, но и в ряде случаев обнаруживать ассоциированные с ним гены антибиотикорезистентности, что критически важно для своевременного назначения таргетной терапии [38–40].

Нейровизуализация

При **первичных бактериальных менингитах** компьютерная или магнитно-резонансная томография головного мозга обычно выполняется

до люмбальной пункции с целью исключения объемного процесса. Характерной рентгенологической находкой при этом служит диффузное усиление мозговых оболочек после введения контрастного препарата [42]. Совершенно другая роль отводится нейровизуализации при **вторичных формах**: при таком подходе она становится обязательным и зачастую решающим компонентом диагностического поиска. Именно томография позволяет верифицировать абсцесс головного мозга, субдуральную эмпиему, признаки ликвореи, дефекты основания черепа, а также детально оценить состояние параназальных пазух и височной кости — то есть выявить те структурные изменения, которые напрямую определяют дальнейшую хирургическую и терапевтическую тактику [20, 41, 42]. Сравнение описанных диагностических подходов представлено в таблице 2.

Лечебные стратегии: сходства и различия

Выбор терапевтической тактики при нейроинфекциях представляет собой многофакторный процесс, основанный на анализе этиологии, патогенеза и индивидуальных особенностей пациента. Первичные и вторичные формы поражения ЦНС требуют принципиально разных подходов. Если при вирусных энцефалитах основу этиотропного лечения составляют противовирусные средства, то при вторичных бактериальных процессах на первый план выходит массивная антибактериальная терапия, нередко сочетающаяся с хирургическим вмешательством. Вместе с тем независимо от генеза патологии, существуют универсальные принципы ведения больных, соблюдение которых во многом определяет исход заболевания.

Общие принципы терапии. В основе терапии любого нейроинфекционного процесса лежат два ключевых принципа: максимально раннее эмпирическое назначение антимикробных препаратов с последующей деэскалацией или коррекцией схемы по результатам микробиологического исследования, а также обязательная госпитализация пациента в отделение реанимации и интенсивной терапии [43, 44].

При **первичных вирусных нейроинфекциях** требуется незамедлительное применение противовирусных

средств — прежде всего ацикловира и специфических иммуноглобулинов [9, 10]. В свою очередь, ведение пациентов с **вторичными бактериальными нейроинфекциями** диктует необходимость выбора эмпирической антибиотикотерапии с обязательным учетом предполагаемого патогенетического механизма развития процесса.

При **посттравматических и healthcare-ассоциированных** формах стартовая схема должна включать препараты, активные в отношении метициллин-резистентного *Staphylococcus aureus* (ванкомицин, линезолид), в комбинации с антибиотиками, действующими на грамотрицательную нозокомиальную флору (цефалоспорины IV поколения, карбапенемы). В случае верификации *Acinetobacter baumannii* препаратом выбора становится коламицин [13, 33, 34]. При наличии у пациента наружного желудочкового дренажа серьезно рассматривается вопрос об интратекальном (интравентрикулярном) введении антибиотиков [21, 22].

При **контактных (отогенных, риногенных)** нейроинфекциях эмпирическая терапия строится на комбинации цефтриаксона с метронидазолом для охвата анаэробной флоры [11, 29].

При **абсцессах головного мозга** требуется длительная (6–8 недель) антибактериальная терапия, нередко с эскалацией схемы по результатам посева гнойного содержимого [20].

Хирургическое лечение играет ключевую роль при целом ряде состояний, включая абсцесс головного мозга размером более 2,5 см, субдуральную эмпиему, ликворею и осложненный синусит [11, 17, 20, 29]. Раннее оперативное вмешательство при посттравматическом менингите значительно улучшает исходы заболевания. Исторически это было продемонстрировано еще в классической работе Winkler и соавт. (1994), согласно которой выполнение операции в первые 6 суток с момента декомпенсации позволяло снизить летальность с 25 до 5 %, что находит подтверждение и в современных ретроспективных исследованиях.

Иммунокомпрометированные пациенты требуют особого подхода. Эмпирическая терапия у данной категории больных должна быть расширена за счет включения противогрибковых и противопаразитарных средств, а также сопровождаться по возможности

коррекцией иммуносупрессивной терапии [19, 30].

Прогнозы и исходы

Прогноз при нейроинфекциях представляет собой многогранный клинический феномен, определяемый взаимодействием нескольких факторов. Ключевыми из них выступают своевременность начала этиотропной терапии, уровень антибиотикорезистентности выделенного возбудителя и исходный иммунный статус пациента [25, 45]. Прямая зависимость исходов от этиологии и характера входных ворот инфекции систематизирована в таблице 3.

Согласно данным R. La Russa и соавт., посттравматический менингит неизменно ассоциируется с высокой летальностью, что ставит его в ряд наиболее опасных осложнений ЧМТ [12]. Еще более неблагоприятная картина наблюдается при нозокомиальных (ассоциированных с медицинской помощью) вентикулитах: показатели смертности при этой форме достигают 30–40 %, что подчеркивает значимость проблемы госпитального поражения ЦНС [22, 34].

ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования в области вторичных нейроинфекций сосредоточены на нескольких ключевых направлениях, определяющих развитие методов диагностики, терапии и профилактики данной патологии. В настоящем разделе представлен критический анализ полученных данных, проведено их сопоставление с результатами актуальных профильных исследований, а также рассмотрены существующие противоречия, экономические аспекты проблемы и методологические ограничения обзора.

Современные направления в диагностике и терапии

Этиологическая диагностика. Традиционные микробиологические методы, прежде всего посев ликвора, нередко демонстрируют низкую чувствительность — особенно на фоне предшествующей антибиотикотерапии или при оппортунистических инфекциях. Именно поэтому ведущим трендом сегодня становится внедрение mNGS цереброспинальной жидкости. Как убедительно показывают исследования, mNGS позволяет идентифицировать возбудителя у 57–73 % пациентов

Таблица 2

Сравнение диагностических подходов при первичных бактериальных и различных типах вторичных нейроинфекций

Table 2

Comparison of diagnostic approaches for primary bacterial and various types of secondary neuroinfections

Параметр Parameter	Первичные бактериальные нейроинфекции Primary bacterial neuroinfection	Вторичные посттравмати- ческие Secondary posttraumatic	Вторичные нетравматические (контактные) Secondary non- traumatic (contact)	Вторичные нетравматические (на фоне иммуносупрессии) Secondary non-traumatic (at the background of immune suppression)	Связанные с оказанием медицинской помощи Related to provision of medical care
Базовые методы Basic methods	Люмбальная пункция, бактериологи- ческий посев ликвора и крови, ПЦР Lumbar puncture, bacteriological culture of cerebrospinal fluid and blood, PCR	Компьютерная томография (КТ) или магнитно-резонансная томография (МРТ) головного мозга (обязательно), посев ликвора, крови, раневого отделяемого Computed tomography (CT) or magnetic resonance imaging (MRI) of the brain (mandatory), culture of cerebrospinal fluid, blood, and wound discharge	КТ/МРТ с контрастированием, посев ликвора, санация ЛОР-очага Contrast-enhanced CT/MRI, CSF culture, sanitation of ENT focus of infection	МРТ с контрастированием, метагеномное секвенирование следующего поколения (mNGS) или мультиплексная полимеразная цепная реакция (ПЦР) ликвора, серология (криптококк, токсоплазма) Contrast MRI, metagenomic next-generation sequencing (mNGS) or multiplex polymerase chain reaction (PCR) of CSF, serology (Cryptococcus, Toxoplasma)	КТ/МРТ, посев ликвора и катетеров, мультиплексная ПЦР CT/MRI, CSF and catheter cultures, multiplex PCR
Цитоз в ликворе Cerebrospinal fluid cytositis	Нейтрофильный (часто > 1000/ мкл), резкое снижение глюкозы Neutrophilic (often > 1000/ μ L), marked decrease in glucose	Нейтрофильный, глюкоза снижена (может быть менее выражена) Neutrophilic; glucose is decreased (may be less pronounced).	Нейтрофильный, глюкоза часто снижена Neutrophilic, glucose is often decreased	Лимфоцитарный или смешанный (иногда нормальный), глюкоза может быть нормальной или сниженной Lymphocytic or mixed (sometimes normal); glucose may be normal or decreased.	Нейтрофиль- ный/ смешанный, может быть нормальным Neutrophilic/ mixed; may be normal.
Биомаркеры Biomarkers	Прокальцитонин сыворотки, СРБ, IL-6 Serum procalcitonin, CRP, IL-6	Прокальцитонин, β 2трансферрин (при ликворее), гепарин- связывающий белок [37] Procalcitonin, β 2- transferrin (in cases of CSF leakage), heparin- binding protein [37]	Прокальцитонин, анаэробные культуры Procalcitonin, anaerobic cultures	(1 $\rightarrow$ 3)- β -D-глюкан (грибки), криптококковый антиген, лимфоцитарные субпопуляции (1 $\rightarrow$ 3)- β -D-glucan (fungi), cryptococcal antigen, lymphocyte subpopulations	Гепарин- связывающий белок, IL6 [37] Heparin-binding protein, IL-6 [37]
Дополни- тельные методы Additional methods	Исключение септических эмболов (ЭхоКГ) Ruling out septic emboli (echocardiography)	Электронейромио- графия (при полинейропатии критических состояний), контроль внутричерепного давления Electroneuromyo- graphy (for poly neuropathy of critical states), intracranial pressure control	КТ/МРТ пазух носа, височных костей, дигитальная субтракционная ангиография (при кавернозном синус- тромбозе) CT/MRI of paranasal sinuses and temporal bones, digital subtraction angiography (in cavernous sinus thrombosis)	Определение субпопуляций CD4+ (ВИЧ), количественная ПЦР на цитомегаловирус, Вирус Эпштейна — Барр, вирус Джона Каннингема, титры антител к токсоплазме Determination of CD4+ subpopulations (HIV), quantitative PCR for cytomegalovirus, (Epstein- Barr virus, and JC virus, and Toxoplasma antibody titers.	Контаминация катетера, биофленка Catheter contamination, biofilm

Диагностические трудности Diagnostic difficulties	Необходимость дифференциации от геморрагического инсульта, абсцесса (редко) Need to differentiate from hemorrhagic stroke and abscess (rare)	Дифференциация инфекционного и асептического послеоперационного менингита; ложные результаты на фоне антибиотиков Differentiation of infectious and aseptic post surgical meningitis; false results at the background of antibiotics)	Полимикробная флора, трудность идентификации анаэробов Polymicrobial flora, difficulty in identifying anaerobes	Атипичная клиника, отрицательные стандартные посевы, необходимость широкого дифференциального ряда (туберкулез, лимфома, лекарственные эффекты) Atypical clinics, negative standard cultures, the need for a broad differential diagnosis (tuberculosis, lymphoma, drug effects)	Сложность интерпретации при положительных посевах из катетеров Complexity of interpreting positive catheter cultures
--	---	--	--	---	---

Таблица 3
Прогнозы при различных типах нейроинфекций
Table 3
Prognoses for various types of neuroinfections

Параметр Parameter	Первичные нейроинфекции Primary neuroinfections	Вторичные нейроинфекции (все группы) Secondary neuroinfections (all groups)
Летальность (общая) Mortality (general)	5-30 % в зависимости от возбудителя 5–30 %, depending on the causative agent	15-40 % (до 60 % при ВИЧ-ассоциированных) 15-40 % (up to 60 % in HIV-associated cases)
Основные факторы неблагоприятного прогноза Main factors of poor prognosis	Пожилый возраст, задержка терапии > 48 часов Advanced age, delay in therapy > 48 hours	Полирезистентный возбудитель, абсцесс/эмпиема, кома, септический шок [22, 33] Multidrug-resistant pathogen, abscess/empyema, coma, septic shock [22, 33]
Резидуальные неврологические дефекты Residual neurological defects	20-50 %	40-70 % (посттравматическая эпилепсия до 15 % [45], гидроцефалия) 40–70 % (post-traumatic epilepsy up to 15% [45], hydrocephalus)
Отдаленный прогноз Long term prognosis	От полного выздоровления до стойкой утраты трудоспособности / From complete recovery to permanent disability	Часто неблагоприятный, особенно при отсроченной терапии Often unfavorable, especially with delayed therapy

с отрицательными результатами посевов, причем наиболее впечатляющие результаты достигнуты при вирусных, грибковых и паразитарных поражениях ЦНС [38, 39]. Параллельно разрабатываются стандартизированные протоколы и алгоритмы интерпретации данных mNGS, а также изучается возможность его комбинации с мультиплексной ПЦР для рутинной клинической практики [40].

Не менее активно ведутся поиски новых ликворных биомаркеров. Наряду с классическими прокальцитонин и интерлейкином 6 все более перспективным признается гепарин-связывающий белок. По данным Y. Kong и соавт., этот маркер демонстрирует высокую чувствительность (92 %) и специфичность (88 %) при дифференциальной диагностике healthcare-ассоциированного вентикулита и асептического послеоперационного воспаления, что открывает новые возможности для раннего и точного

распознавания нозокомиальных осложнений [37].

Антибиотикорезистентность.

Распространение карбапенемазопро-дуцирующих штаммов *K. pneumoniae* и *A. baumannii* делает стандартные схемы неэффективными [13, 33]. В связи с этим современные исследования направлены на оптимизацию альтернативных подходов, среди которых выделяют:

- комбинированную терапию (в частности, сочетания колистина с тигециклином, а также цефтазидима-авибактама с азтреонамом) [26, 33];
- интратекальное введение антибиотиков (ванкомицина, аминогликозидов, полимиксинов) с мониторингом концентраций [21, 22];
- новые препараты (цефидерокол, эравациклин, бактериофаги).

Как показывают метаанализы, локальное (интратекальное) применение колистина при нозокомиальных менингитах и вентикулитах позволяет

значимо снизить показатели летальности — с 65 до 38 %, что делает этот метод патогенетически обоснованным при неэффективности системного введения [33, 34].

Иммуномодуляция и адъювантная терапия. В экспериментальных моделях активно исследуются ингибиторы инфламасомы NLRP3 и блокаторы циклооксигеназы-2 [8, 18]. В свою очередь, для иммуносупрессивных пациентов и при развитии септических состояний оценивается клинический потенциал следующих подходов:

- глюкокортикоиды (дексаметазон) – доказано снижение показателей смертности при бактериальных менингитах у взрослых, но у детей и при нозокомиальных формах эффективность не подтверждена [43];
- внутривенные иммуноглобулины, анакинра (анти-IL-1) [30, 43];
- восстановление CD4+-клеток у ВИЧ-инфицированных [19].

Хирургическая тактика и профилактика. Ранняя хирургическая санация очага инфекции выступает в качестве независимого фактора благоприятного исхода заболевания. В свою очередь, профилактика нозокомиальных healthcare-ассоциированных инфекций строится на комплексном подходе, включающем применение антибиотико-импрегнированных дренажных систем (что обеспечивает снижение частоты инфекционных осложнений с 12 % до 4–6 %) [14, 21], проведение коротких курсов периоперационной антибиотикопрофилактики и строгое соблюдение стандартизованных протоколов ухода за катетерами.

Прогнозирование исходов. В настоящее время активно разрабатываются и валидируются прогностические шкалы, адаптированные для пациентов нейроинтенсивного профиля (модифицированные шкалы APACHE, SOFA, а также специализированные шкалы для оценки тяжести менингита). Ключевыми независимыми предикторами неблагоприятного исхода выступают: кома (отношение шансов (ОШ) = 6,2), полирезистентный возбудитель (ОШ = 4,8), отсрочка терапии > 48 часов (ОШ = 3,5) [22, 34, 45]. Посттравматическая эпилепсия развивается у 10–15 % пациентов, госпитальные инфекции повышают риск в 1,7 раза [45].

Критический анализ противоречий в литературе

Анализ литературы выявляет ряд противоречий и нерешенных вопросов.

Применение дексаметазона при нозокомиальных формах. В то время как при первичных бактериальных менингитах дексаметазон значительно снижает показатели смертности и частоту неврологических осложнений (особенно при пневмококковой этиологии), его целесообразность при посттравматических и ассоциированных с медицинской помощью процессах остается дискуссионной. Ряд авторов не рекомендуют его рутинное назначение из-за возможного ухудшения проникновения антибактериальных препаратов через воспаленный гематоэнцефалический барьер и дополнительного риска иммуносупрессии [43]. Напротив, отдельные исследователи предполагают эффективность глюкокортикоидов у пациентов с выраженным отеком головного мозга [30]. Таким образом,

данное решение должно приниматься строго индивидуально с учетом этиологии и конкретной клинической ситуации.

Оптимальный выбор между системной и интратекальной терапией. Несмотря на благоприятные результаты локального введения антибиотиков при верификации полирезистентных штаммов, к настоящему времени отсутствуют крупные рандомизированные клинические исследования, напрямую сравнивающие данные подходы. Существует обоснованное опасение, что интратекальное введение может повышать риск прямой нейротоксичности и не во всех случаях обеспечивает терапевтическую концентрацию препарата в паренхиме головного мозга [21, 22].

Роль mNGS в рутинной практике. Хотя метод mNGS демонстрирует высокую чувствительность, значительная стоимость, длительность выполнения (до 48–72 часов) и сложность интерпретации результатов (ввиду риска контаминации и персистенции комменсальной флоры) ограничивают его повсеместное внедрение. Ряд экспертов сходятся во мнении о целесообразности использования mNGS исключительно в качестве резервного инструмента при отрицательных результатах стандартных тестов [38, 39].

Расхождение в определении ликвореи и показаниях к хирургическому вмешательству. Различные клинические школы предлагают неодинаковые маркеры выявления ликворных фистул (определение бета-2-трансферина, КТ-цистернография) и переменные сроки оперативного закрытия дефектов, что существенно затрудняет стандартизацию подходов [16, 17, 28].

Таким образом, значительная часть современных клинических рекомендаций базируется на низком уровне доказательности (мнениях экспертов, малых когортных исследованиях), что подчеркивает настоятельную необходимость проведения дальнейших проспективных многоцентровых работ.

Экономические аспекты

Экономические аспекты и финансовые затраты играют существенную роль при выборе диагностических и лечебных стратегий, особенно в условиях ограниченных ресурсов систем здравоохранения.

mNGS: стоимость одного исследования в специализированных лабораториях может достигать 1500–3000 долларов США, что многократно превышает затраты на стандартные бактериологические посевы и рутинную ПЦР-диагностику. Однако при отрицательных результатах культурных методов применение mNGS может быть экономически оправдано за счет сокращения длительности нерациональной эмпирической антибиотикотерапии, снижения частоты осложнений и уменьшения продолжительности госпитализации. Фармакоэкономический анализ, проведенный в ряде актуальных работ, показывает, что ранняя интеграция mNGS в протоколы ведения пациентов с тяжелыми нейроинфекциями рентабельна, по крайней мере, в странах с высоким уровнем дохода [39].

Интратекальная терапия: стоимость самих антибактериальных препаратов (в частности, колистина или ванкомицина) для интравентрикулярного введения невелика, однако требуются дополнительные расходы на мониторинг концентраций, специализированные катетеры и обучение персонала. Сравнительные исследования экономической эффективности интратекальной и системной терапии пока не проводились.

Антибиотико-пропитанные дренажи: их более высокая стоимость по сравнению с обычными дренажами компенсируется снижением частоты инфекций (с 10–15 до 4–6 %) и связанных с ними затрат на лечение и prolongation госпитализации. По некоторым оценкам, использование таких дренажей экономически выгодно при частоте инфекций более 8 % [21].

Представленные данные подчеркивают необходимость учитывать не только клиническую эффективность, но и экономическую целесообразность при разработке национальных клинических протоколов, особенно для систем здравоохранения с ограниченным бюджетом.

Ограничения обзора

Дизайн публикации. Данная работа выполнена в формате нарративного обзора с элементами систематизированного поиска. В отличие от полноценного систематического обзора, в ней не проводилась формальная статистическая оценка гетерогенности данных и риска систематических ошибок,

что допускает определенный элемент субъективности при интерпретации литературных источников.

Языковой фильтр. Анализ ограничивался исключительно публикациями на русском и английском языках, в связи с чем из поля зрения могли быть упущены значимые исследования, изданные на других языках.

Временной охват. Фокус на публикациях за период 2021–2026 гг. позволил аккумулировать наиболее актуальные данные, однако привел к исключению более ранних фундаментальных работ.

Недостаток собственных клинических данных. В обзоре не представлены оригинальные данные авторов, что ограничивает возможность непосредственной оценки применимости выводов в локальных популяциях пациентов.

Гетерогенность источников. Включены исследования разных дизайнов (рандомизированные, когортные, описательные), что затрудняет прямое сравнение результатов.

Экономические оценки. Фармакоэкономические выводы базируются на ограниченном пуле данных, полученных преимущественно в развитых странах с высоким уровнем финансирования здравоохранения, и могут быть неэкстраполируемы на регионы с другими моделями бюджетирования.

Отсутствие формальной количественной оценки качества. Из-за жестких ограничений журнала по объему рукописи подробные результаты оценки качества источников по шкалам не были включены в итоговый текст. Это ограничивает возможность объективного сравнения уровней доказательности.

Взгляд в будущее: направления предстоящих исследований

Наиболее значимыми векторами дальнейших научных изысканий в области вторичных нейроинфекций представляются:

- проведение проспективных многоцентровых исследований с целью валидации комплексных диагностиче-

ских алгоритмов (сочетающих mNGS и ликворные биомаркеры) для различных категорий пациентов;

- организация рандомизированных клинических испытаний новых антибиотиков и режимов интратекальной терапии против карбапенем-резистентных штаммов;

- изучение роли микробиоты и кшечно-мозговой оси в патогенезе посттравматического нейровоспаления;

- разработка иммунотерапевтических подходов, способных модулировать системную воспалительную реакцию, не подавляя при этом противомикробную защиту;

- создание международных регистров пациентов с healthcare-ассоциированными нейроинфекциями для унификации подходов и сопоставимого анализа исходов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вторичные нейроинфекции представляют собой особый клинически значимый феномен, принципиально отличающийся от первичных форм по целому ряду фундаментальных параметров. Ключевые различия между этими категориями прослеживаются по нескольким направлениям. В этиологической структуре вторичных инфекций преобладает бактериальная, нередко полирезистентная микрофлора, а в их патогенезе почти всегда присутствует либо экстракраниальный очаг инфекции, либо нарушение анатомических барьеров. Диагностический алгоритм базируется на обязательном применении расширенной нейровизуализации, лечебная тактика зачастую требует хирургического вмешательства, а в исходах регистрируются более высокие показатели летальности и частота стойких резидуальных неврологических дефектов.

Особого внимания заслуживают посттравматические нейроинфекции. Эта группа выделяется на общем фоне высоким риском инфицирования но-зокомиальными полирезистентными штаммами, необходимостью раннего выявления ликвореи (подчас маски-

рованной) и активной хирургической тактикой. Нетравматические вторичные нейроинфекции представляют собой гетерогенную категорию. У иммунокомпетентных пациентов они, как правило, этиологически связаны с ЛОР-очагами — хроническими отитами, синуситами, одонтогенной инфекцией. У иммунокомпрометированных лиц (с ВИЧ-инфекцией, после трансплантации, на фоне цитостатической терапии) на первый план выходят оппортунистические процессы, распознать которые без современных молекулярно-генетических методов (mNGS, мультиплексная ПЦР) практически невозможно. Ведение таких больных требует не только расширенной эмпирической терапии, но и точного понимания иммунного статуса.

Вместе с тем, несмотря на все различия, существуют общие принципы в подходах к ведению пациентов. И при первичных, и при вторичных нейроинфекциях решающее значение имеет максимально ранний старт эмпирической терапии, а анализ цереброспинальной жидкости по-прежнему остается базовым стандартом диагностики. Наконец, успех лечения в обоих случаях определяется мультидисциплинарным взаимодействием неврологов, инфекционистов, нейрохирургов и реаниматологов. Для улучшения исходов раннего выявления ликвореи, внедрение экспресс-методов диагностики антибиотикорезистентности, совершенствование протоколов комбинированной системной и интратекальной терапии, а также создание стратегий иммуномодуляции для наиболее уязвимой категории — иммуносупрессивных пациентов.

Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Potapchik AL, Matievskaya N V, Krasko YuP. Incidence and structure of neuroinfections in patients hospitalized in an infectious disease hospital. *Clinical Infectology and Parasitology*. 2022. No. 1, Part 11. P. 5–12. DOI: 10.34883/PI.2022.11.1.019. Russian (Потапчик А. Л., Матиевская Н. В., Краско Ю. П. Частота и структура нейроинфекций у пациентов, госпитализированных в инфекционный стационар // Клиническая инфектология и паразитология. 2022. № 1, Ч. 11. С. 5–12. DOI: 10.34883/PI.2022.11.1.019.)
2. Howard R, Benjamin L, De Saram S, Houlihan C, Manji, H. Infection in the nervous system. In: *Neurology: a queen square textbook*. Eds R. Howard, D. Kullmann, D. Werring and M. Zandi. John

- Wiley & Sons Ltd. 2024. P. 369-432. DOI: 10.1002/9781119715672.ch12.
3. Zinserling V. Infectious lesions of the central nervous system: pathology and imaging. Cham: Springer Nature, 2022. URL: <https://books.google.ru/books?id=3ZNzEAAQBAJ>
 4. Danina DV, Vlasova MV, Muravyeva A.V. Analysis of the incidence and clinical manifestations of neuroinfections in a pediatric hospital. *Russian Pediatric Journal*. 2025; 28(5S):27. URL: <https://www.rosiped.ru/jour/article/view/1868>.) Russian (Данина Д. В., Власова М. В., Муравьева А. В. Анализ заболеваемости и клинических проявлений нейроинфекций в детском стационаре // Российский педиатрический журнал. 2025. Т. 28, № 5S. С. 27. URL: <https://www.rosiped.ru/jour/article/view/1868>.)
 5. Huff H V, Wilson-Murphy M. Neuroinfectious diseases in children: pathophysiology, outcomes, and global challenges. *Pediatric Neurology*. 2024; 151:53-64. DOI: 10.1016/j.pediatrneurol.2023.09.020.
 6. Likhтерman LB, Kravchuk AD, Okhlopov VA. The study of the sequelae of traumatic brain injury. Part I. *Clinical Case Review in General Medicine*. 2021; 5:25-29. Russian (Лихтерман Л. Б., Кравчук А. Д., Охлопков В. А. Учение о последствиях черепно-мозговой травмы. Часть I // Клинический разбор в общей медицине. 2021. № 5. С. 25-29.)
 7. (Likhтерman LB, Kravchuk AD, Okhlopov VA. The study of the sequelae of traumatic brain injury. Part II. *Clinical Case Review in General Medicine*. 2021; 6:23-34.) Russian (Лихтерман Л. Б., Кравчук А. Д., Охлопков В. А. Учение о последствиях черепно-мозговой травмы. Часть II // Клинический разбор в общей медицине. – 2021. – № 6. С. 23-34.)
 8. He N, Mao XJ, Ding YM, Zuo T, Chen YY, Wang LL. New insights into the biological roles of immune cells in neural stem cells in post-traumatic injury of the central nervous system. *Neural Regen Res*. 2023;18(9):1908-1916. DOI: 10.4103/1673-5374.367836.
 9. Autore G, Bernardi L, Perrone S, Esposito S. Update on viral infections involving the central nervous system in pediatric patients. *Children*. 2021; 8(9): 782. DOI: 10.3390/children8090782.
 10. Kohil A, Jemmie S, Smatti MK, Yassine HM. Viral meningitis: an overview. *Archives of Virology*. 2021. 166(2):335-345. DOI: 10.1007/s00705-020-04891-1.
 11. Novikova IS, Yakovleva TV, Bezuglaya EA., Esaulenko EV. Secondary otogenic meningoencephalitis with recurrent abscesses. *Journal of Infectology*. 2026; 18(1):174-181. DOI: 10.22625/2072-6732-2026-18-1-174-181. Russian (Новикова И. С., Яковлева Т. В., Безуглая Е.А., Эсауленко Е. В. Вторичный отогенный менингоэнцефалит с рецидивирующими абсцессами // Журнал инфектологии. 2026. Т. 18, № 1. С. 174-181. DOI: 10.22625/2072-6732-2026-18-1-174-181.)
 12. La Russa R, Maiese A, Di Fazio N, Morano A, Di Bonaventura C, De Matteis A. Post-traumatic meningitis is a diagnostic challenging time: a systematic review focusing on clinical and pathological features. *Int J Mol Sci*. 2020;21(11):4148. DOI: 10.3390/ijms21114148.
 13. Kolupaeva LV, Kolupaeva NV, Lebedeva AYU, Solomentsev VI, Sizova AA, Fursov MV, et al. Genomic sequences of *Acinetobacter baumannii* and *Klebsiella pneumoniae* isolates obtained from the blood of patients in an intensive care unit in 2024. *Bacteriology*. 2025; 10(1):116-118. DOI: 10.20953/2500-1027-2025-1-116-118.) Russian (Колупаева Л. В., Колупаева Н. В., Лебедева А. Ю., Соломенцев В. И., Сизова А. А., Фурсов М. В., и др. Геномные последовательности изолятов *Acinetobacter baumannii* и *Klebsiella pneumoniae*, выделенных из крови пациентов отделения реанимации и интенсивной терапии в 2024 году // Бактериология. 2025. Т. 10, № 1. С. 116-118. DOI: 10.20953/2500-1027-2025-1-116-118)
 14. Ippolito M, Giarratano A, Cortegiani A. Healthcare-associated central nervous system infections. *Curr Opin Anesthesiol*. 2022. 35(5): 549-554. DOI: 10.1097/ACO.0000000000001167.)
 15. Iancu D, Moldovan I, Țilea B, Voidăzan S. Evaluating healthcare-associated infections in public hospitals: a cross-sectional study. *Antibiotics*. 2023. 12(12):1693. DOI: 10.3390/antibiotics12121693.
 16. Lilenko AS, Sugarova SB, Kharitonova PR, Luntovskaya P A, Tanaschishina VA. Clinical case of post-traumatic middle cranial fossa meningocele. *Russian Otorhinolaryngology*. 2025; 24(3)(136): 75-80. Russian (Лиленко А. С., Сугарова С. Б., Харитоновна П. Р., Лунтовская П. А., Танасчишина В. А. Клинический случай посттравматического менингоцеле средней черепной ямки // Российская оториноларингология. 2025. Т. 24. № 3 (136). С. 75-80.)
 17. Lekuya HM. Depressed skull fractures : timing of surgery, systemic inflammatory response, surgical site infection, and post-traumatic epilepsy (DESTINE Study). PhD Thesis. Ghent, Belgium: Ghent University. Faculty of Medicine and Health Sciences; 2025. 348 p.
 18. Faller CJ, S Kursancew AC, Lima BB, Duarte NG, Noetzold JT, Studnicka N, et al. Association between traumatic brain injury and risk of developing infections in the central nervous system and periphery. *Metab Brain Dis*. 2025;40(6):235. DOI: 10.1007/s11011-025-01658-y.
 19. Kapustin DV, Krasnova EI, Khokhlova NI, Osipova IP, Totmenin AV, Gashnikova NM, et al. Characteristics of CNS involvement in HIV-infected patients in the Novosibirsk Region. *Treating Physician*. 2023;26(11):31-38. Russian (Капустин Д. В., Краснова Е. И., Хохлова Н. И., Осипова И. П., Тотменин А. В., Гашникова Н. М. и др. Особенности поражения ЦНС у больных ВИЧ-инфекцией в Новосибирской области // Лечащий врач. 2023. Т.26, № 11. С. 31-38.)
 20. Shubin DI, Karpova AA, Nikitin PA. Brain abscess combined with subdural empyema. *Bulletin of Contemporary Clinical Medicine*. 2023; 16(5):107-112. DOI: 10.20969/VSKM.2023.16(5).107-112.) Russian (Шубин Д. И., Карпова А. А., Никитин П. А. Абсцесс головного мозга в сочетании с субдуральной эмпиемой // Вестник современной клинической медицины. 2023. Т.16, № 5. С.107-112. DOI: 10.20969/VSKM.2023.16(5).107-112.)
 21. Karvouniaris M, Brotis A, Tsiakos K, Palli E, Koulenti D. Current perspectives on the diagnosis and management of healthcare-associated ventriculitis and meningitis. *Infect Drug Resist*. 2022;15:697-721. DOI: 10.2147/IDR.S326456. PMID: 35250284.
 22. Valdeiros SR, Torráo C, Freitas LS, Mano D, Gonçalves C, Teixeira C. Nosocomial meningitis in intensive care: a 10-year retrospective study and literature review. *Acute Crit Care*. 2022;37(1):61-70. DOI: 10.4266/acc.2021.01151.
 23. Skripchenko EYu, Zheleznikova GF, Skripchenko NV, Alekseeva LA, Goleva OV, Bessonova TV, et al. Immunopathological and genetic aspects of the pathogenesis of CNS lesions in VZV infection. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2022;122(10):46-56. DOI: 10.17116/jnevro202212210146 Russian (Скрипченко Е. Ю., Железникова Г. Ф., Скрипченко Н. В., Алексеева Л. А., Голева О. В., Бессонова Т. В. и др. Иммунопатологические и генетические аспекты патогенеза поражений ЦНС при VZV-инфекции // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2022. Т. 122, № 10. С. 46-56. DOI: 10.17116/jnevro202212210146.)
 24. Redenbaugh V, Flanagan EP. Understanding the etiology of meningitis and encephalitis. *Lancet Reg Health West Pac*. 2022; 20:100373. DOI: 10.1016/j.lanwpc.2021.100380.

25. Block N, Naucier P, Wagner P, Morfeldt E, Henriques-Normark B. Bacterial meningitis: aetiology, risk factors, disease trends and severe sequelae during 50 years in Sweden. *J Intern Med.* 2022;292(2):350-364. DOI: 10.1111/joim.13488.
26. Xu J, Du X, Li D, Li P, Guo Q, Xu X, et al. Clinical characteristics and antimicrobial therapy of healthcare-associated carbapenem-non-susceptible gram-negative bacterial meningitis: a 16-year retrospective cohort study. *BMC Infect Dis.* 2024;24(1):368. DOI: 10.1186/s12879-024-09237-9.
27. Smaija S, Noor F, Luqman S, Asifa S. Management options for post traumatic CSF rhinorrhea: a case series study. *Pakistan Journal Of Neurological Surgery.* 2022; 26: 76-82. DOI:10.36552/pjns.v26i1.628.
28. Abraham AP, Singh M, Reji KK, Nair S, Joseph M. Long-term follow-up of patients managed conservatively for acute traumatic CSF rhinorrhea. *World Neurosurg.* 2022; 161:e564-e571. DOI: 10.1016/j.wneu.2022.02.065.
29. Rubini A, Ronzani G, D'Alessandro E, Marchioni D. Management of otogenic meningitis: practical guidelines. *J Clin Med.* 2024; 13(18): 5509. DOI: 10.3390/jcm13185509.
30. Alviz LF, Jones BA, Agnihotri SP, Thakur KT. Identifying CNS infections in transplantation and immunomodulatory therapy. *Ther Adv Infect Dis.* 2024;11:20499361241298456. DOI: 10.1177/20499361241298456.
31. Zhang F, Li Y, Shen H, Tao J, Wang J. Case report: cryptococcal eosinophilic meningitis in a patient with Hodgkin lymphoma. *Front Neurol.* 2022;13:898525. DOI: 10.3389/fneur.2022.898525.
32. Panda AK, Hazra S, Anthony A, Kushwaha S. Cryptococcal infection causing longitudinal extensive transverse myelitis in an immunocompetent individual: Case report and literature review. *Front Neurol.* 2023;14:1171572. DOI: 10.3389/fneur.2023.1171572.
33. Ye Y, Kong Y, Ma J, Shi G. Carbapenem-resistant gram-negative bacteria-related healthcare-associated ventriculitis and meningitis: antimicrobial resistance of the pathogens, treatment, and outcome. *Microbiol Spectr.* 2022;10(3):e0025322. DOI: 10.1128/spectrum.00253-22.
34. Panic H, Gjurasin B, Santini M, Kutlesa M, Papic N. Etiology and outcomes of healthcare-associated meningitis and ventriculitis-A single center cohort study. *Infect Dis Rep.* 2022;14(3):420-427. DOI: 10.3390/idr14030045.
35. Skripchenko NV, Skripchenko EYu, Marchenko NV, Vilnits AA. Diagnosis of neuroinfections in children. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry.* 2024; 124:11-2:51-59. DOI: 10.17116/jnevro202412411251. Russian (Скрипченко Н. В., Скрипченко Е. Ю., Марченко Н. В., Вильниц А. А. Диагностика нейроинфекций у детей // Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. 2024. Т. 124, № 11-2. С. 51-59. DOI: 10.17116/jnevro202412411251.)
36. Isanova ShT, Khudoiberdiev ShE, Mukhtarova AA. Evolution of methods for early diagnosis of meningitis in children at the present stage. *J Mod Med.* 2025. 11(4): 747-753.
37. Kong Y, Niu J, Liu Z, Zhou W, Tian Y, Shi G. Heparin-binding protein as a diagnostic biomarker for healthcare-associated meningitis and ventriculitis in pediatric patients. *Neurosurgery.* 2025;97(3):710-718. DOI: 10.1227/neu.0000000000003505.
38. Li J, Zhang L, Yang X, Wang P, Feng L, Guo E, et al. Diagnostic significance of targeted next-generation sequencing in central nervous system infections in neurosurgery of pediatrics. *Infect Drug Resist.* 2023;16:2227-2236. DOI: 10.2147/IDR.S404277.
39. Su LD, Chiu CY, Gaston D, Hogan CA, Miller S, Simon DW, et al. Clinical metagenomic next-generation sequencing for diagnosis of central nervous system infections: advances and challenges. *Mol Diagn Ther.* 2024;28(5):513-523. DOI: 10.1007/s40291-024-00727-9.
40. Nassur JA, Schnell KM, Dolon CD, Walters L, Weber D, Pettengill MA. Epidemiology of healthcare-associated ventriculitis and meningitis (HCAVM) and community-acquired meningitis/encephalitis and evaluation of an off-label PCR panel for HCAVM diagnosis. *Microbiol Spectr.* 2026;14(2):e0277025. DOI: 10.1128/spectrum.02770-25.
41. Hwee TP, Cheng TK. Imaging of congenital/childhood CNS infections. *Neuroimaging Clin N Am.* 2023; 33(1):207-224. DOI: 10.1016/j.nic.2022.07.017.
42. Rajarajan P, Quinn C, Holroyd KB. Neuroimaging of central nervous system infections. *Semin Neurol.* 2025. 45(5): 584-600. DOI: 10.1055/a-2645-2914
43. Alamarat Z, Hasbun R. Management of acute bacterial meningitis in children. *Infect Drug Resist.* 2020. 13:4077-4089. DOI: 10.2147/IDR.S240162.
44. Skripchenko NV, Vilnits AA, Egorova ES, Skripchenko EYu, Klimkin AV, Voitenkov VB, et al. Emergency conditions in neuroinfections in children. *Russian Pediatric Journal.* 2022; 3(1):287. Russian (Скрипченко Н. В., Вильниц А. А., Егорова Е. С., Скрипченко Е. Ю., Климин А. В., Войтенков В. Б. и др. Неотложные состояния при нейроинфекциях у детей // Российский педиатрический журнал. 2022. Т. 3, № 1. С. 287.)
45. Chen Z, Laing J, Li J, O'Brien TJ, Gabbe BJ, Semple BD. Hospital-acquired infections as a risk factor for post-traumatic epilepsy: A registry-based cohort study. *Epilepsia Open.* 2024;9(4):1333-1344. DOI: 10.1002/epi4.12957.

Сведения об авторах:

Кан Сергей Людовикович (автор для переписки) — д.м.н., доцент, ректор ФГБОУ ВО КемГМУ Минздрава России; ул. Ворошилова, д. 22а, г. Кемерово, Россия, 650029. E-mail: kansergey1980@mail.ru

Устьянцева Ирина Марковна — д.б.н., профессор, член-корреспондент РАЕН, профессор кафедры патологической физиологии, кафедры медицинской биохимии ФГБОУ ВО КемГМУ Минздрава России; ул. Ворошилова, д. 22а, г. Кемерово, Россия, 650029. <https://orcid.org/0000-0002-1234-5678>. E-mail: irmaust@mail.ru; kemsma@kemsma.ru

Шеметов Александр Владимирович — ассистент кафедры анестезиологии и реаниматологии, сотрудник Многопрофильного

Information about authors:

Kan Sergey Lyudovichovich (author for correspondence), associate professor, rector of Kemerovo State Medical University; 22a Voroshilova St., Kemerovo, Russia, 650029. E-mail: kansergey1980@mail.ru

Ustyantseva Irina Markovna — Doctor of Biological Sciences, professor, corresponding member of RANS, professor at department of pathological physiology and department of medical biochemistry, Kemerovo State Medical University; 22a Voroshilova St., Kemerovo, Russia, 650029. <https://orcid.org/0000-0002-1234-5678>. E-mail: irmaust@mail.ru; kemsma@kemsma.ru

Shemetov Alexander Vladimirovich — assistant, department of anesthesiology and intensive care; staff member of Multidisciplinary

аккредитационно-симуляционного центра НГИУВ – филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России; пр-т Строителей, д. 5, г. Новокузнецк, Россия, 654005. <https://orcid.org/0000-0003-2051-6568>. E-mail: avshemetov@mail.ru

Хохлова Зинаида Александровна — д.м.н., профессор, профессор кафедры эпидемиологии и инфекционных болезней ФГБОУ ВО КемГМУ Минздрава России; ул. Ворошилова, д. 22а, г. Кемерово, Россия, 650029; заведующая кафедрой инфекционных болезней НГИУВ – филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России; пр-т Строителей, д. 5, г. Новокузнецк, Россия, 654005. <https://orcid.org/0000-0001-7306-1849>. E-mail: zinaidaxoxlowa@yandex.ru

Accreditation and Simulation Center, Novokuznetsk State Institute for Postgraduate Medical Education (branch of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education); Prospect Stroiteley, 5, Novokuznetsk, Russia, 654005. <https://orcid.org/0000-0003-2051-6568>. E-mail: avshemetov@mail.ru

Khokhlova Zinaida Alexandrovna — MD, PhD, professor, department of epidemiology and infectious diseases, Kemerovo State Medical University; 22a Voroshilova St., Kemerovo, Russia, 650029; head of department of infectious diseases, Novokuznetsk State Institute for Postgraduate Medical Education (branch of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education); Prospect Stroiteley, 5, Novokuznetsk, Russia, 654005. <https://orcid.org/0000-0001-7306-1849>. E-mail: zinaidaxoxlowa@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 23.06.2026

Рецензирование пройдено 07.07.2026

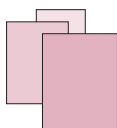
Подписано в печать 31.08.2026

Received 23.06.2026

Review completed 07.07.2026

Passed for printing 31.08.2026





РЕФЕРАТЫ ПУБЛИКАЦИЙ

Источник: Benuzzi L, Cioffi SPB, Granieri S, Panagini G, Altomare M, Spota A, et al. Impact of blunt adrenal gland injury (BAGI) in major trauma: a systematic review and meta-analysis = Влияние тупой травмы надпочечников на тяжелые травмы: систематический обзор и метаанализ. *World J Emerg Surg.* 2026;21(1):8. DOI: 10.1186/s13017-025-00654-y.

Актуальность. Тупые травмы надпочечников (ТН) встречаются редко и, как правило, являются следствием высокоэнергетического воздействия. Несмотря на предположения о том, что ТН могут служить маркером повышенной тяжести травмы и уровня смертности, имеющиеся данные остаются противоречивыми. Проведен систематический обзор и метаанализ с целью оценки влияния ТН на тяжесть травмы, госпитальную летальность и продолжительность пребывания в стационаре.

Методы. По состоянию на 31 августа 2024 года был проведен систематический поиск в базах данных PubMed, Scopus и Embase. В анализ были включены исследования, сравнивавшие взрослых пациентов с тупой травмой с ТН и без нее. Из публикаций извлекали данные о шкале тяжести травмы (ISS), внутрибольничной летальности и длительности пребывания в стационаре. Риск систематической ошибки оценивали с помощью инструмента ROBINS-E, а степень достоверности доказательств — по системе GRADE. В зависимости от уровня гетерогенности применяли модели со случайными или фиксированными эффектами.

Результаты. Критериям включения соответствовали восемь ретроспективных исследований с участием 379 070 пациентов, в том числе 15 990 пациентов с ТН. У пациентов с ТН показатели по шкале ISS были значимо выше (средняя разность [MD]: 7,18; 95% ДИ: 2,59–11,76; $p = 0,012$). Изначально различий в показателях госпитальной летальности выявлено не было (ОП: 1,10; 95% ДИ: 0,69–1,73), однако анализ чувствительности, проведенный после исключения исследований, вносящих вклад в гетерогенность данных, показал повышенную летальность в группе ТН (ОП: 1,51; 95% ДИ: 1,2–1,91; $p = 0,007$). Значимых различий в продолжительности пребывания в стационаре не наблюдалось (MD: 3,26 дня; 95% ДИ: –1,56–8,10; $p = 0,13$). Достоверность доказательств была оценена как умеренная для показателей ISS и летальности и как низкая — для продолжительности пребывания в стационаре.

Выводы. ТН ассоциируются с большей тяжестью травмы и, потенциально, с повышенной летальностью. Хотя этот признак не является независимым предиктором, его наличие должно настораживать в отношении тяжелой политравмы. Для уточнения прогностической значимости ТН необходимы стандартизированная классификация тяжести травм и проспективные данные.

Источник: Huang DL, Bhatia R, Simmasalam R, Talbott JF, Huang MC, Singh V. Traumatic venous sinus thrombosis: patient and practice patterns at a major trauma center = Травматический тромбоз венозных синусов: особенности лечения пациентов и клинической практики в крупном травматологическом центре. *Neurocrit Care.* 2026;44(1):27–36. DOI: 10.1007/s12028-025-02278-1.

Актуальность. Черепно-мозговая травма может приводить к повреждению и тромбозу венозных синусов, что нередко сопровождается повышением внутричерепного давления и неблагоприятными исходами. Целью данного исследования было изучение факторов риска, тактики ведения и клинических исходов при травматическом тромбозе венозных синусов (ТТВС).

Методы. Проведен всесторонний поиск в базе данных лучевой диагностики с отбором окончательных заключений за период с 2013 по 2022 год, содержащих термины «тромбоз венозных синусов», «тромбоз синусов» или «окклюзия вен». Тромбоз венозных синусов (ТВС) выявлялся при компьютерной томографии и подтверждался сертифицированным нейрорадиологом.

Результаты. В ходе первичного отбора было выявлено 135 пациентов; в итоговый анализ вошли 112 из них. Большинство пациентов составляли мужчины (76,8 %); средний возраст участников — 44 года. Показатели по шкале комы Глазго на момент поступления составили 13–15, 9–12 и 3–8 баллов у 60,7 %, 12,5 % и 26,8 % пациентов соответственно. На момент выписки из стационара 89 пациентов (79,5 %) были живы. У большинства пострадавших ($n = 109$; 97,3 %) были диагностированы переломы костей черепа, включая переломы основания черепа. Семнадцати пациентам потребовались медицинские вмешательства в связи с рефрактерной внутричерепной гипертензией; у 16 из них (94,1 %) наблюдался множественный тромбоз венозных синусов. Была выявлена неоднородность подходов к мониторингу и лечению ТВС. В качестве терапии ТВС пациенты получали антикоагулянты (АК; 13,4 %), антиагреганты (АА; 34,8 %) либо консервативное лечение (без применения АК или АА; 51,8 %). По данным контрольных методов визуализации, полученным для 52 пациентов, к 6-му месяцу после травмы у 26 из них (50 %) отмечалась реканализация венозных синусов. Частота реканализации была выше в группе пациентов, получавших АА, по сравнению с группой, получавшей антикоагулянты. Однако, вероятно, это было следствием систематической ошибки отбора: пациенты с травмами легкой и средней степени тяжести с большей вероятностью получали терапию АА. Отмечалась более высокая частота геморрагических осложнений у пациентов, получавших АК и АА (20,0 % и 12,8 %), по сравнению с пациентами, получавшими консервативное лечение (3,4 %), даже с учетом более низкой выживаемости в группе консервативной терапии.

Выводы. Различия между группами лечения следует интерпретировать с осторожностью ввиду систематической ошибки отбора и смещения, обусловленного показаниями к лечению. Необходимы дополнительные исследования для определения оптимальной тактики ведения пациентов с ТТВС.

Источник: Lee P, Nunes N, Zagales R, Chin B, Nishida C, Hernandez N, et al. Predictors of deep vein thrombosis in pediatric trauma based on demographic, injury, and clinical characteristics = Факторы, предсказывающие тромбоз глубоких вен при травмах у детей на основе демографических, травматических и клинических характеристик. *J Trauma Nurs.* 2026; Jan 8. DOI: 10.1097/JTN.0000000000000908.

Актуальность/обоснование. Тромбоз глубоких вен (ТГВ) является второй по значимости причиной заболеваемости среди госпитализированных детей. В существующих научных публикациях отдельные факторы риска рассматриваются изолированно, без комплексной оценки сопутствующих травм и клинических характеристик.

Цель. Исследование направлено на выявление различных демографических, клинических характеристик и особенностей травм, связанных с развитием тромбоза глубоких вен (ТГВ) у детей с политравмой.

Методы. В данном ретроспективном когортном исследовании использовалась база данных ACS-TQIP-PUF (файл для использования участниками программы повышения качества лечения травм Американской коллегии хирургов) за 2017–2023 годы для оценки риска ТГВ у пациентов детского возраста (младше 18 лет) с политравмой. Полученные данные были стратифицированы по демографическим и клиническим характеристикам, а также по особенностям травм.

Результаты. В исследование были включены 620 детей с политравмой, у которых был диагностирован тромбоз глубоких вен (ТГВ). К факторам риска, ассоциированным с повышенной частотой развития ТГВ, относились: возраст 15–17 лет (скорректированное отношение шансов [сОШ]: 3,03; $p < 0,001$), мужской пол (сОШ: 1,40; $p = 0,043$) и ожирение (сОШ: 1,48; $p = 0,004$). Повышенный риск ТГВ также наблюдался у пациентов с проникающими ранениями (сОШ: 2,10; $p < 0,001$), оценкой тяжести травмы по шкале ISS > 15 (сОШ: 3,71; $p < 0,001$), тяжелой травмой брюшной полости (сОШ: 1,17; $p = 0,049$), а также у тех, кому проводили краниотомию (сОШ: 2,26; $p = 0,044$) или диагностическую лапаротомию (сОШ: 3,17; $p < 0,001$), кто находился на искусственной вентиляции легких более 72 часов (сОШ: 6,53; $p < 0,001$) и получал гемотрансфузии (сОШ: 3,51; $p < 0,001$).

Заключение. У детей и подростков в возрасте 15–17 лет с политравмой повышенный риск развития тромбоза глубоких вен наблюдается при наличии ожирения, тяжелых проникающих травм, необходимости проведения искусственной вентиляции легких более 72 часов, выполнении краниотомии или диагностической лапаротомии, а также при переливании крови — особенно в течение первых 4 часов после травмы или при массивной гемотрансфузии.

Источник: Wen J, Liu G, Chang P, Hu P, Liu B, Jiang C, et al. A real-time dynamic warning method for MODS in trauma sepsis patients based on a pre-trained transfer learning algorithm = Метод динамического предупреждения в реальном времени о полиорганной недостаточности у пациентов с травматическим сепсисом, основанный на предварительно обученном алгоритме трансферного обучения. *Diagnostics (Basel).* 2026;16(2):270. DOI: 10.3390/diagnostics16020270.

Цели. Синдром полиорганной недостаточности (СПОН) является серьезным осложнением травматического сепсиса, характеризующимся неблагоприятным прогнозом. Авторы исследования разработали интерпретируемую прогностическую модель, прошедшую многоцентровую валидацию, которая позволяет проводить раннюю индивидуальную оценку риска и обеспечивать своевременное оказание медицинской помощи.

Методы. На основе данных MIMIC-IV и eICU разработана предварительно обученная модель с использованием стратегии раздельной обработки, и оценена ее интерпретируемость с помощью метода SHAP.

Результаты. Внутренняя валидация проводилась на данных от 700 пациентов из базы MIMIC-IV, внешняя — на данных 110 пациентов из базы eICU. При использовании временных окон прогнозирования длительностью 6, 12 и 24 часа лучшая из предварительно обученных моделей продемонстрировала среднее значение AUC, равное 0,906. Примечательно, что дообучение всего на 100 случаях сепсиса травматического генеза (3,6 % от обучающей выборки) позволило достичь AUC 0,846, что на 0,165 превышает показатель модели без предварительного обучения. Анализ SHAP также показал, что количество тромбоцитов является одним из наиболее значимых факторов, влияющих на точность прогнозирования развития СПОН.

Выводы. В целом, предварительно обученная модель СПОН продемонстрировала высокую способность к различению, хорошую обобщающую способность и наглядную интерпретируемость как при внутренней, так и при внешней валидации, что свидетельствует о возможности ее переноса в другие условия и клиническом потенциале для раннего выявления пациентов с травмой, имеющих высокий риск развития сепсиса.

Источник: Thiedemann C, Rupp M, Heller A, Lenz J, Geiger I, Popp D, et al. Are multiple limb injuries in severely injured patients negligible? Evaluation of progression and outcome using a new scoring system for extremity injury: the Extremity Severity Score (ESS) = Можно ли пренебречь множественными травмами конечностей у пациентов с тяжелыми травмами? Оценка прогрессирования и исхода с использованием новой системы оценки травм конечностей: шкалы тяжести конечностей (ESS). *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2025;51(1):317. DOI: 10.1007/s00068-025-02987-4.

Введение. По-видимому, травмы конечностей оказывают менее значительное влияние на летальность у пациентов с сочетанной травмой (ISS ≥ 16). В рамках первичного осмотра по протоколу ATLS (Advanced Trauma Life Support) среди

травм конечностей выделяют лишь переломы костей таза и бедренной кости. Целью данного исследования было оценить роль множественных травм конечностей в отношении летальности, прогрессирования состояния и развития осложнений у пациентов с сочетанной травмой, а также определить реальное влияние сопутствующей кровопотери. Для решения этой задачи в качестве основного инструмента была разработана шкала тяжести травм конечностей (Extremity Severity Score — ESS).

Материалы и методы. Данная работа представляет собой ретроспективное одноцентровое исследование, проведенное на базе травматологического центра высшего уровня (Level I) в период с 2008 по 2019 год. В исследуемую когорту были включены пациенты с показателем тяжести травмы (ISS) не менее 16 баллов. Из анализа исключали лиц моложе 16 лет на момент получения травмы, пациентов, первоначально получавших лечение в других медицинских учреждениях или переведенных непосредственно из отделения неотложной травматологической помощи, а также случаи, для которых отсутствовали данные по шкале RISC2 (Revised Injury Severity Classification Score 2). Показатель ESS рассчитывался аналогично шкалам ISS или NISS: значения тяжести трех наиболее серьезных повреждений конечностей (включая повреждения костей таза, соответствующие анатомической области «конечности» в системе ISS) возводились в квадрат и суммировались. Исследуемая когорта была разделена на группы с показателями $ESS \geq 16$ и $ESS < 16$; проводился сравнительный анализ этих групп по основному показателю (летальность) и ряду вторичных показателей. Помимо одномерного анализа данных, была построена модель логистической регрессии.

Результаты. Из 3101 случая критериям включения соответствовали 1227 пациентов с 5824 повреждениями конечностей. Статистически значимых различий в показателях нескорректированной летальности и стандартизированного коэффициента смертности (SMR) между группами $ESS < 16$ и $ESS \geq 16$ выявлено не было (22,5 % против 18,0 %; 0,97 против 0,84; $p > 0,05$). В обеих группах наиболее частой причиной смерти была черепно-мозговая травма (ЧМТ) (72,9 % и 47,4 % соответственно), за которой следовали массивная кровопотеря (9,8 % и 19,3 %) и полиорганная недостаточность (ПОН) (6,8 % и 17,5 %). В группе $ESS \geq 16$ от массивной кровопотери умерло больше пациентов (4,6 % против 23,1 %, $p = 0,007$), тогда как в группе $ESS < 16$ чаще встречалась смерть вследствие ЧМТ (77,0 % против 30,8 %, $p = 0,002$). Что касается вторичных конечных точек, то в группе $ESS \geq 16$ отмечалось достоверно большее количество хирургических вмешательств (2,5 против 7,6, $p \leq 0,001$), более высокая частота переливания крови (20,3 % против 50,6 %, $p \leq 0,001$), а также более длительное пребывание в отделении интенсивной терапии (8,9 против 12,1 сут, $p \leq 0,001$) и более продолжительный общий срок госпитализации (8,9 против 12,1 сут, $p \leq 0,001$).

Выводы. В данном исследовании наличие множественных тяжелых травм конечностей не повлияло на летальность, однако сказалось на клиническом течении заболевания. Протокол ATLS оптимален для оказания помощи на начальном этапе, однако лечение множественных повреждений конечностей требует значительных ресурсов. Сопоставимых показателей летальности можно добиться лишь при условии, что медицинское учреждение способно обеспечить необходимые ресурсы для этой уязвимой группы пациентов. Таким образом, пациенты с травмами нескольких конечностей по-прежнему требуют особого внимания.

Источник: Choi D, You N, Jung H, Seo D, Yoo J, Jeong TS. The transfusion timing of plasma and red blood cells in a 1 : 1 ratio is related with survival and functional outcomes in multiple trauma patients with severe traumatic brain injury = Время переливания плазмы и эритроцитов в соотношении 1 : 1 связано с выживаемостью и функциональными исходами у пациентов с множественной травмой и тяжелой черепно-мозговой травмой. J Korean Neurosurg Soc. 2025;68(6):749-760. DOI: 10.3340/jkns.2025.0006.

Цель. Переливание плазмы в высоком соотношении предлагается в качестве стратегии лечения политравмы, сопровождающейся тяжелой черепно-мозговой травмой (ЧМТ). В данном исследовании был проведен анализ исходов в зависимости от соотношения компонентов и сроков переливания плазмы.

Методы. Данные о клинических характеристиках и исходах собирались в период с марта 2016 года по декабрь 2022 года. В исследование были включены пациенты с тяжелой черепно-мозговой травмой (ЧМТ) и политравмой, которым проводилась массивная трансфузия. Тяжелая ЧМТ определялась как травма головы с баллом по шкале AIS (Abbreviated Injury Scale) ≥ 3 ; массивная трансфузия определялась как переливание ≥ 4 доз эритроцитарной массы в течение первых 4 часов и ≥ 10 доз в течение первых 24 часов. Показатели, зафиксированные в течение 4 часов, относили к «группе ранней трансфузии», а показатели за 24 часа — к «группе восполнения» (catch-up group). Затем внутри каждой из этих групп пациентов разделяли на подгруппы в зависимости от соотношения компонентов крови: « $\geq 1 : 1$ (плазма $\geq$ эритроцитарная масса)» и « $< 1 : 1$ (плазма $<$ эритроцитарная масса)».

Результаты. В исследовании приняли участие 532 пациента. Показатели смертности при соотношениях 1 : 2 и 1 : 1,5 статистически не различались; однако значимое различие было отмечено только при соотношении 1 : 1 ($p = 0,006$). В группе раннего введения препаратов существенных различий в исходах не наблюдалось. Логистическая регрессия для оценки 30-дневной смертности позволила выявить независимые факторы риска, включая пожилой возраст, низкие баллы по шкале комы Глазго (GCS), высокие баллы по шкале AIS (тяжесть повреждения головы) и соотношение $< 1 : 1$. Для группы «наверстывающей» терапии (catch-up group) отношение шансов для благоприятного исхода по шкале GCS при соотношении $\geq 1 : 1$ составило 1,61, а показатель 30-дневной смертности — 0,60 (при сравнении соотношений $\geq 1 : 1$ и $< 1 : 1$).

Заключение. Данное исследование показало, что поддержание соотношения плазмы $\geq 1 : 1$ в течение 24 часов улучшает функциональные исходы и выживаемость, не повышая при этом частоту осложнений. Таким образом, переливание плазмы в высоком соотношении может быть эффективным методом лечения пациентов с политравмой и тяжелой ЧМТ.

Источник: Horst K, Hamsen U, Volmerig J, Benstöm C, Marx G, Hildebrand F. S3 guidelines on intensive care medicine following polytrauma : aspects regarding definitive surgical treatment = Рекомендации S3 по интенсивной терапии после политравмы: аспекты, касающиеся радикального хирургического лечения. *Unfallchirurgie (Heidelb)*. 2025;128(10):783-791. DOI: 10.1007/s00113-025-01626-2.

Лечение пациентов с политравмой сопряжено со значительными трудностями. За последние десятилетия благодаря интенсивным усилиям и междисциплинарному взаимодействию удалось повысить выживаемость пациентов с тяжелыми травмами. Были разработаны и регулярно обновляются высококачественные клинические рекомендации, охватывающие этапы оказания помощи на догоспитальном этапе, в отделении неотложной помощи, а также на начальном этапе хирургического лечения.

Данная статья представляет собой часть новых клинических рекомендаций уровня S3, посвященных лечению пациентов с политравмой, переведенных в отделение интенсивной терапии после оказания первичной неотложной помощи. Такие пациенты требуют особого подхода (в частности, в вопросах мониторинга, обезболивания, стратегии искусственной вентиляции легких, нутритивной поддержки и т. д.) и зачастую нуждаются в окончательной хирургической стабилизации повреждений грудной клетки, брюшной полости, таза и конечностей.

В статье обобщены данные современной литературы и представлены рекомендации по раннему окончательному лечению пациентов с множественными травмами, с особым акцентом на выбор оптимальных сроков проведения такого лечения.

Источник: Choudhary L, Suhail A, Aggarwal A, Elhence A, Gahlot N, Bains A. A unique case of bilateral elbow terrible triad in a polytrauma patient: associated challenges in management = Уникальный случай двусторонней локтевой триады у пациента с политравмой: сопутствующие проблемы лечения. *J Orthop Case Rep*. 2025;15(10):164-172. DOI: 10.13107/jocr.2025.v15.i10.6196.

Введение. «Ужасная триада» локтевого сустава — повреждение, включающее вывих локтевого сустава, перелом головки лучевой кости и перелом венечного отростка, — представляет собой сложную для лечения травму. Двустороннее поражение встречается крайне редко, особенно у пациентов с политравмой, и сопряжено со значительными трудностями при проведении хирургического вмешательства и реабилитации.

Описание случая. В статье описывается случай молодого мужчины, получившего двусторонние травмы типа «ужасной триады» с сопутствующим переломом обеих костей правого предплечья в результате падения с высоты. При поступлении ему была оказана помощь в соответствии с протоколами расширенной реанимационной помощи при травмах. Первоначальное лечение проводилось в рамках стратегии ортопедической помощи, направленной на минимизацию повреждений, включая временную стабилизацию и обработку ран. После 15 дней стабилизации в отделении интенсивной терапии были проведены окончательные поэтапные операции. Они включали двустороннюю замену головок лучевых костей, фиксацию венечного отростка (метод вытягивания швов слева и винтовая фиксация справа), а также открытую репозицию и внутреннюю фиксацию предплечья. Операции на локте были поэтапными в связи с общим состоянием пациента и сопутствующими травмами. Ранняя реабилитация была начата под наблюдением. Через год после операции у пациента наблюдался хороший диапазон движений, рентгенологическое сращение и отличные функциональные показатели.

Заключение. Данный клинический случай подчеркивает важность ранней диагностики, индивидуального поэтапного планирования хирургического вмешательства и структурированной реабилитации для достижения успешных результатов при лечении редких и сложных двусторонних повреждений типа «ужасная триада» у пациентов с политравмой.

Источник: Carlson J, Pahalawatta U, Hinwood M, Giles T, Balogh ZJ. Pulmonary artery thrombosis in trauma: not as deadly as previously thought = Тромбоз легочной артерии при травме: не так смертелен, как считалось ранее. *World J Surg*. 2025;49(11):3248-3256. DOI: 10.1002/wjs.70120.

Актуальность. Тромбоэмболия легочной артерии (ТЭЛА) — хорошо известное, серьезное и потенциально опасное для жизни осложнение политравмы. Накапливаются данные, свидетельствующие о том, что у пациентов с травмой, помимо классической ТЭЛА, развивающейся вследствие тромбоза глубоких вен (ТГВ), может возникать тромбоз легочной артерии *in situ* (ТЛА *in situ*) — как следствие травматической коагулопатии и эндотелиопатии. На данный момент неизвестно, требует ли выявление ТЛА *in situ* при поступлении медицинского вмешательства или же это состояние можно оставить без внимания. Цель данного исследования — изучить частоту возникновения, факторы риска и клинические исходы ТЛА *in situ* у всех пациентов с травмой, поступивших в отделение неотложной помощи (травматологическое реанимационное отделение).

Методы. Данная работа представляет собой ретроспективное исследование пациентов, поступивших в травматологический центр 1-го уровня в 2019 году. Все первичные снимки легких, полученные при травме, были ретроспективно проанализированы рентгенологом для оценки наличия видимых тромбов в легочных сосудах при поступлении. ТЛА определялась как наличие легочных тромбов, выявленных на первичном снимке легких, полученном при травме. ТЭЛА определялась как наличие легочного тромба, обнаруженного при КТ-ангиографии легочных артерий, выполненной для диагностики предполагаемой ТЭЛА. Первичным результатом было выявление легочного тромба. Вторичными результатами были смертность, продолжительность пребывания в отделении интенсивной терапии (ОИТ), общая продолжительность пребывания, количество дней, требующих искусственной вентиляции легких, развитие дыхательной недостаточности, полиорганной недостаточности и ее связь с политравмой.

Результаты. Из 597 госпитализированных пациентов 278 (46,6 %) прошли компьютерную томографию грудной клетки с внутривенным контрастированием в период пребывания в стационаре и были включены в данное исследование. У 45 из 278 (16,2 %) пациентов были выявлены тромбы в сосудах легких: у 43 (15,5 %) — ТЛА, у 2 (0,7 %) — ТЭЛА. Статистически значимых различий в характеристиках пациентов или показателях шкалы ISS между группами не выявлено. Наличие ТЭЛА ассоциировалось с более высокими баллами по шкале AIS для областей конечностей ($p = 0,004$) и наружных повреждений ($p = 0,006$). Кроме того, ТЭЛА ассоциировалась с наличием шока при поступлении, что проявлялось более низким систолическим ($p = 0,004$) и диастолическим ($p = 0,015$) артериальным давлением, а также повышенным уровнем лактата ($p = 0,002$). ТЭЛА была связана с развитием ранней дыхательной недостаточности ($p = 0,004$). Различий в частоте перевода в отделение интенсивной терапии или потребности в искусственной вентиляции легких не наблюдалось.

Заключение. Данное исследование показывает, что посттравматическая легочная артериальная тромбоэмболия часто выявляется при проведении первичной визуализации у пациентов с травмой и ассоциирована с ранней дыхательной недостаточностью, шоком на момент поступления и травмами конечностей, однако не связана с тяжестью травмы, летальностью или необходимостью перевода в отделение интенсивной терапии. Результаты исследования послужат основой для планирования будущих проспективных исследований (в части определения необходимого объема выборки и дизайна), направленных на выявление предикторов неблагоприятных исходов и установление потенциальных причинно-следственных связей с выявленными факторами риска.

Источник: Zhai X, Zhang Z, Zhai X, Zhou B, Li L. Psychological intervention as an adjunct to sedation and analgesia: benefits for emotional state, resilience, and postoperative recovery among emergency multiple trauma patients = Психологическое вмешательство как дополнение к седации и анальгезии: польза для эмоционального состояния, устойчивости и послеоперационного восстановления у пациентов с множественными травмами, поступивших в отделение неотложной помощи. *Am J Transl Res.* 2026;18(1):421-431. DOI: 10.62347/DMQZ9016.

Цель. Данное исследование было направлено на изучение влияния сочетания седации и анальгезии с психологическим вмешательством на реабилитацию пациентов, поступивших в отделение неотложной помощи с сочетанной травмой.

Методы. В данное ретроспективное исследование были включены 211 пациентов с сочетанной травмой и переломами, поступивших в Первую аффилированную больницу Медицинского университета Бэнбу в период с января 2020 года по октябрь 2024 года. В зависимости от выбранной тактики ведения пациенты были распределены в группу стандартного лечения ($n = 102$) или в группу, получавшую стандартное лечение в сочетании с психологической поддержкой ($n = 109$). Пациенты первой группы получали стандартную седативную и анальгезирующую терапию, а также проходили реабилитационные мероприятия. Пациентам второй группы дополнительно проводилась психологическая коррекция с участием профессиональных психологов. Сравнение групп проводилось по таким показателям, как выраженность негативных эмоций, наличие посттравматического стрессового расстройства (ПТСР), уровень психологической устойчивости, частота развития нежелательных реакций в послеоперационном периоде и качество жизни.

Результаты. После проведения вмешательства показатели по шкале самооценки тревожности (SAS) ($42,80 \pm 5,60$) и шкале самооценки депрессии (SDS) ($40,36 \pm 6,23$), а также баллы по всем разделам опросника для оценки ПТСР (гражданская версия — PCL-C) в группе, получавшей стандартное лечение в сочетании с психологическим вмешательством, были статистически значимо ниже, чем в группе, получавшей только стандартное лечение (во всех случаях $p < 0,05$). Напротив, в группе, получавшей стандартное лечение в сочетании с психологическим вмешательством, наблюдались статистически значимо более высокие показатели по всем разделам шкалы жизнестойкости Коннора — Дэвидсона (CD-RISC) и опросника качества жизни ВОЗ (WHOQOL-BREF), а также статистически значимо более низкая частота послеоперационных нежелательных реакций по сравнению с группой стандартного лечения (во всех случаях $p < 0,05$).

Заключение. Сочетание седации и обезболивания с психологическим вмешательством у пациентов с сочетанной травмой, поступивших в отделение неотложной помощи, способствовало уменьшению выраженности негативных эмоциональных состояний, повышению психологической устойчивости и улучшению качества жизни, а также снижению риска развития ПТСР и послеоперационных осложнений.

Источник: Briggs GD, Gelzinnis S, Lott Nj, Tuboly E, Coulthard JT, Nolan EK, et al. Predicting multiple organ failure after major orthopedic interventions is possible using only conventional laboratory tests = Прогнозирование полиорганной недостаточности после крупных ортопедических вмешательств возможно с использованием только стандартных лабораторных анализов. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2025;51(1):333. DOI: 10.1007/s00068-025-03004-4.

Цель. Решение об отсрочке вторичной ортопедической операции (не являющейся жизненно важной) с целью снижения риска развития полиорганной недостаточности (ПОН) или сепсиса в значительной степени основывается на мнении экспертов. Инструмент для принятия решений мог бы решить эту проблему, позволяя оценить состояние воспалительной реакции и системы свертывания крови у пациента до операции. Поставлена задача выяснить, может ли сочетание доступных показателей воспаления и коагуляции служить прогностическим фактором развития ПОН или сепсиса у пациентов с политравмой.

Методы. Проведено проспективное одноцентровое исследование с участием взрослых пациентов с травмами, которым требовалось хирургическое вмешательство на тазу или вертлужной впадине. Набор пациентов осуществлялся в период с октября 2011 года по январь 2018 года. В качестве основных исходов рассматривались развитие послеоперационной ПОН и

сепсиса. Показатели общего анализа крови, протромбинового времени, активированного частичного тромбопластинового времени, международного нормализованного отношения, уровня фибриногена, компонентов комплемента С3 и С4, С-реактивного белка, триптазы, кортизола и интерлейкина-6 оценивались до операции, а также через 30 минут, 1 день и 3 дня после нее. Для группировки данных (как внутри временных интервалов, так и между ними) применялся метод главных компонент (РСА). Для прогнозирования развития ПОН или сепсиса использовалась логистическая регрессия с включением четырех главных компонент, вносящих наибольший вклад в дисперсию.

Результаты. Всего было включено 157 пациентов. Частота развития ПОН и сепсиса составила 7 % и 13 % соответственно. Метод главных компонент (РСА), примененный к показателям иммунной системы и системы свертывания крови, определенным до операции, позволил прогнозировать развитие ПОН (площадь под кривой [AUC]: 0,94). Прогнозирование ПОН с использованием только стандартных лабораторных тестов также показало значение AUC, равное 0,94. Точность прогнозирования сепсиса с помощью РСА оказалась ниже, чем точность прогнозирования ПОН (предоперационный показатель AUC: 0,76).

Заключение. Стандартные клинические данные, доступные до проведения плановой (не выполняемой по жизненным показаниям) окончательной операции на тазу или вертлужной впадине, позволяют прогнозировать развитие несостоятельности фиксации (MOF) и могут служить инструментом, помогающим ортопедам-травматологам оптимизировать сроки хирургического вмешательства. Для подтверждения полученных результатов необходимо проведение многоцентрового проспективного исследования.



БИБЛИОГРАФИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ ПОЛИТРАВМЫ

Публикации

Альфаюми М. С., Сергеев К. С., Малишевский В. М. Особенности операций конверсионного остеосинтеза при диафизарных переломах бедра и голени на фоне политравмы // Медицинская наука и образование Урала. 2026. Т. 27, № 1(125). С. 5-9.

Апагуни А. Э., Черкасов М. А., Посух В. В., Фарсян Д. Л., Симонян Д. А., Мойсияди С. А. Место последовательного остеосинтеза в лечении больных с политравмой // XII Всероссийский Приоровский форум, посвященный 140-летию Н.Н. Приорова : сборник работ, Москва, 12–13 декабря 2025 года. Москва: ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова». 2025. С. 14-15.

Ватолин А. В., Джарабаева Ф. А., Мурзабекова Я. И., Макшанова Г. П. Особенности травматической болезни при политравме // Интеграция теории и практики в медицине: достижения и перспективы : сборник научных статей. Кемерово : Кемеровский государственный медицинский университет, 2024. С. 104-110.

Вахтин В. В., Апагуни А. Э., Арзуманов С. В., Фарсян Д. Л., Даньшин М. Е. Применение блокад у больных с переломами длинных трубчатых костей нижних конечностей при политравме на реанимационном этапе как профилактика тромбозов // Медицинская помощь при травмах. Новое в организации и технологиях : сборник тезисов X юбилейного национального конгресса с международным участием. К 125-летию кафедры военной травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера ВМА, Санкт-Петербург, 28 февраля – 01 2025 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская общественная организация «Человек и его здоровье», 2025. С. 34-35..

Галкин А. А., Хурда Е. Ю. Психотерапия «тихих» травм: методы работы с синдромом профессионального выгорания и моральной травмой у сотрудников силовых структур // Теория и практика психологической работы и профессионального обучения психологов силовых структур : сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 20 ноября 2025 года. Москва: Московский университет МВД РФ им. В.Я. Кикотя, 2026. С. 114-119.

Гусев И. Д., Андреева Е. Г. Исследование свойств реабилитационных швейных изделий для потребителей с политравмами // ПРОМТЕХДИЗАЙН. Естественные и технические науки : сборник статей всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием, Санкт-Петербург, 01–27 апреля 2025 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, 2025. С. 7-11.

Дуб Н. И. Влияние экстрагенитальной политравмы на Морфологическое строение семенников крыс // Сборник трудов CLV итоговой конференции Военно-научного общества курсантов, студентов и слушателей Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, 15 апреля 2026 года. Том 155. Часть I. Санкт-Петербург: Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, 2026. С. 243-247.

Журавлев А. А., Антоненко К. Г. Особенности смертельной политравмы у погибших в результате падения с большой высоты // Сборник трудов CLV итоговой конференции Военно-научного общества курсантов, студентов и слушателей Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, 15 апреля 2026 года. Том 155. Санкт-Петербург: Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, 2026. С. 284-287.

Захарчук Е. В., Воробьев Д. П., Гаилов С. С. Х., Аксельров М. А., Архипенко В. И., Морозов П. Д. и др. Практический опыт оказания экстренной специализированной медицинской помощи пациентам с политравмой // Неотложная детская хирургия и травматология : материалы XIV Всероссийского научно-практического форума, Москва, 25–27 февраля 2026 года. Москва - Санкт-Петербург: ООО «Эко-Вектор», 2026. С. 66.

Зубрилова Е. Г., Демчук О. В., Петросова С. А. Клинико-эпидемиологические особенности жировой эмболии у пациентов с политравмой в Донецкой Народной Республике // Вестник гигиены и эпидемиологии. 2025. Т. 29, № 3. С. 54-57.

Измайлов В. Е., Серегин А. Г., Ацецкая А. С. Структура смертности при политравме как основа формирования травматического континуума // Достижения фундаментальной, клинической медицины и фармации : Материалы 81-ой научной сессии ВГМУ, Витебск, 28–29 января 2026 года. Витебск: Витебский государственный медицинский университет, 2026.

Казанцев А. Н., Вшивков К. Н., Нескоромный Д. Ю., Тенишев Р. Р., Алексеев О. В., Холматов В. Н. Достижения и инновации военной и трансляционной медицины в ходе специальной военной операции (2022-2026 гг.) // Трансляционная медицина. 2026. Т. 13, № 1. С. 60-81.

Кендыш А. В., Жилкина В. В., Джумян А. С., Мелкоступов А. А., Лебедев В. Ф. Современные подходы к хирургическому лечению нестабильных повреждений тазового кольца // Эпомен: медицинские науки. 2026. № 30. С. 56-60.

Кистень В. К., Гайворонский А. И., Свистов Д. В., Бобков А. В., Барашков Е. М., Касимов Р. Р., и др. Клинико-лабораторная характеристика пострадавших с проникающими черепно-мозговыми ранениями на первичном этапе оказания нейрохирургической помощи // Вестник неврологии, психиатрии и нейрохирургии. 2026. Т. 19, № 4(195). С. 610-620.

Ключникова Я. В. Лучевая диагностика переломов костей таза у пациентов с политравмой // Актуальные проблемы лучевой диагностики : материалы II Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию КГМУ, 70-летию

кафедры лучевой диагностики и терапии КГМУ, Курск, 17 октября 2025 года. Курск: Курский государственный медицинский университет, 2025. С. 59-60.

Коломеец М. С., Прокудина Е. С., Антонова Л. В. Некоторые аспекты создания тканеинженерных конструктов в соответствии с особенностями патогенеза ожоговой раны: обзор литературы // Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2025. Т. 14, № 3. С. 180-191.

Костыря Ю. Е., Гуляев Н. И., Агафонов П. В., Юркин А. К. Исследование эффективности и безопасности оксида азота в ранней респираторной реабилитации пациентов с политравмой и ушибом лёгких // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2026. Т. 28, № 1. С. 65-73.

Крюков Е. В., Ивченко Е. В., Гриневич В. Б., Першко А. М., Ефимов И. М., Сорокин А. Н. Влияние эндоэкологии кишечника на развитие инфекционных осложнений и полиорганной недостаточности у раненых с политравмой // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2026. Т. 28, № 1. С. 111-118.

Малек С. А., Сергеев К. С., Архипенко В. И., Малишевский В. М., Сергеев Г. К. Современная тактика лечения диафизарных переломов бедра и голени на фоне политравмы // Непрерывное медицинское образование и наука. 2026. Т. 21, № S1. С. 24-27.

Мец И. С., Трофимова И. А., Логвинова О. В., Колесник А. В., Хромов Д. В., Щербинин В. А. Стандартизированный протокол оказания медицинской помощи при высокоэнергетической травме на догоспитальном этапе бригадами СМП // Актуальные вопросы оказания медицинской помощи на территории приграничных регионов в условиях проведения специальной военной операции : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 70-летию ОГБУЗ «Станция скорой медицинской помощи Белгородской области», Белгород, 13–14 ноября 2025 года. Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2025. С. 62-65.

Мизиев И. А., Шидова А. Х., Ахкубеков Р. А., Мусукаева А. Б. Стресс-зависимые повреждения слизистой верхнего отдела желудочно-кишечного тракта у больных с сочетанной травмой // Здоровье - основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2025. – Т. 20, № 1. С. 473-481.

Невмержицкая О. С., Цыганкова Д. А., Омелянюк В. П. Роль неинвазивного биоэлектрического импедансного Анализа (БИА) в целенаправленной инфузионной терапии пациентов с тяжелой черепно-мозговой травмой: клинический случай, // Военная медицина. 2026. № 1(78). С. 135-137.

Панков И. О., Габдуллин М. М., Сиразитдинов С. Д., Емелин А. Л. Синдром жировой эмболии как основная причина летальности при тяжелой политравме // Казанский академический форум : сборник статей и тезисов Поволжской мультидисциплинарной научно-практической конференции с Российским участием, Казань, 17–18 апреля 2026 года. Казань, 2026. С. 61-68.

Петрова Л. Л., Лочехина Е. Б., Федотова Е. В. Гендерные и возрастные аспекты политравмы // Фундаментальные и прикладные научные исследования: современные проблемы, достижения и инновации : сборник статей Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Самара, 01 мая 2026 года. Часть 1. Уфа: ООО «Аэтерна», 2026. С. 187-189.

Пишук Г. М., Хасанова А. Р., Костригина О. А. Клинический случай оценка эффективности второго этапа медицинской реабилитации участника специальной военной операции после эндопротезирования правого тазобедренного сустава с наличием ампутационной культи левой верхней конечности // Бальнеотерапия в программах санаторно-курортного лечения и медицинской реабилитации : сборник тезисов IX Международного конгресса, Москва, 19–20 марта 2026 года. Москва: ООО «МЕДИ Экспо», 2026. С. 76-79.

Сироджов К. Х., Хукуматов М. И., Шарипов Д. Ш., Сироджода М. С. Случай успешного лечения тяжелого осложненного многооскольчатого перелома нижней конечности // Медицинский вестник Национальной академии наук Таджикистана. 2026. Т. 16, № 1(57). С. 128-135.

Стяжкина С. Н., Байрамкулов М. Д., Тухватуллина М. И., Галиуллина Д. Р., Шишкин М. А. Актуальные проблемы диагностики и лечения травм брюшной полости и грудной клетки, обзор литературы // Альманах социально-гуманитарных наук : сборник научных статей. 4 квартал 2025 г. Медицина и здравоохранение. Ульяновск : ИП Кеньшенская Виктория Валерьевна (издательство «Зебра»), 2026. С. 160-164.

Сысоева К. И., Волосникова И. Л., Ежова А. В. Психология травмы: этапы психологической реабилитации спортсмена, преодоление страха повторной травмы // Современные векторы прикладных исследований в сфере физической культуры и спорта : материалы VII Международной российско-белорусской научно-практической конференции для молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов. Конференция посвящена Дням российской и белорусской науки, Воронеж, 26–27 февраля 2026 года. Воронеж: Воронежская государственная академия спорта, 2026. С. 882-886.

Шагивалеев Н. А., Михайленко Б. С., Шевченко А. А. Внутричерепные гематомы как осложнения при лечении антикоагулянтами больных с тяжелыми политравмами // Морфология и нейронауки : материалы Международной научной конференции, посвященной памяти профессора Н.И. Одноралова, Воронеж, 05–06 декабря 2025 года. Воронеж: ООО Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2025. С. 79-84.

Шамсиев А. М., Игамбердиев Б. Н., Шамсиев Ж. А., Юсупов Ш. А. Оптимизация медицинской реабилитации детей с сочетанными повреждениями грудной клетки и забрюшинного пространства после политравмы // Неотложная детская хирургия и травматология : материалы XIV Всероссийского научно-практического форума, Москва, 25–27 февраля 2026 года. Москва - Санкт-Петербург: ООО «Эко-Вектор», 2026. С. 151.

Шарипов И. А., Пустынников А. В., Ефремов А. Ю., Цакадзе К. Д., Щеглов И. П., Каримов М. И. Составляющая травматического шока в раннем посттравматическом периоде политравм: боль, анализ летальности // Медицинская помощь при травмах.

Новое в организации и технологиях : сборник тезисов X юбилейного национального конгресса с международным участием. К 125-летию кафедры военной травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера ВМА, Санкт-Петербург, 28 февраля – 01 2025 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская общественная организация «Человек и его здоровье», 2025. С. 207-208.

Ямщиков О. Н., Марченко А. П., Емельянов С. А., Ямщикова С. О., Марченко Н. А. Клиническая демонстрация регионарной комбинированной анестезии при политравме у пациента высокого риска // Здоровоохранение Дальнего Востока. 2026. № 2(108). С. 60-64.

Brooks A, Joyce D, Gouveia S, Burak M, LaValle A, Reilly JJ, et al. Outcomes following non-operative management for severe liver trauma: a UK multicentre observational study = Результаты консервативного лечения тяжелых травм печени: многоцентровое обсервационное исследование в Великобритании. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2026;34(1):70. DOI: 10.1186/s13049-026-01576-7.

Chen L, Ji C, Yuan M, Peng Y, Xie W, Sheng X, Yin Q. Building an "Abdomen- First" multidisciplinary system for pediatric polytrauma with major abdominal injuries: A decade of surgical evolution and outcomes = Создание междисциплинарной системы, ориентированной на лечение политравмы у детей с тяжелыми повреждениями брюшной полости: десятилетие хирургической эволюции и результатов лечения. *J Pediatr Surg*. 2026;61(6):163019. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2026.163019.

Du X, He Y, Liu X. Predictive value of systemic immune-inflammation index combined with D-dimer levels and injury severity score for the prognosis of patients with multiple injuries: a retrospective analysis = Прогностическая ценность индекса системного иммунного воспаления в сочетании с уровнями D-димера и шкалой тяжести травмы для прогноза пациентов с множественными травмами: ретроспективный анализ. *Open Access Emerg Med*. 2026;18:549167. DOI: 10.2147/OAEM.S549167.

Gargano F, Fiore M, McCaffery E, Pascarella G, Ruggiero A, Migliorelli S, Carassiti M. Regional anesthesia as an alternative to general anesthesia for managing polytrauma surgically = Регионарная анестезия как альтернатива общей анестезии при хирургическом лечении политравмы. *Anaesthesiol Intensive Ther*. 2025 Aug 27;57(1):215-218. doi: 10.5114/ait/208285.

Lee SH, Lee YJ, Seol DS, Kang KR, Yeom S, Kim JY, et al. Effectiveness of integrative Korean medicine for traumatic multiple spinal compression fractures: a case report = Эффективность интегративной корейской медицины при множественных травматических компрессионных переломах позвоночника: описание клинического случая. *Explore (NY)*. 2026;22(2):103318. DOI: 10.1016/j.explore.2026.103318.

Mohseni M, Gurnani B, Blair K. Blunt eye trauma = Тупая травма глаза. 2026; Feb 21. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan.

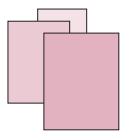
Mühlenfeld N, Obid P, Sommer A, Siegel M, Mühlenfeld M, Kalbhenn J, et al. Emergency spinal stabilization in polytrauma: a clinical marker for tracheostomy rather than an independent risk factor for prolonged ventilation = Экстренная стабилизация позвоночника при политравме: клинический маркер необходимости трахеостомии, а не независимый фактор риска длительной вентиляции легких. *Injury*. 2026;57(4):113152. DOI: 10.1016/j.injury.2026.113152.

Thanapaul RJRS, Govindarajulu MY, Pundkar CY, Arun P. Pathophysiology-guided biomarkers and therapeutics for precision trauma medicine in polytrauma with musculoskeletal injuries = Биомаркеры и терапевтические средства, основанные на патофизиологических принципах, для персонализированной травматологии при политравме с повреждениями опорно-двигательного аппарата. *Mil Med Res*. 2026;13(1):100014. DOI: 10.1016/j.mmr.2026.100014.

Weber B, Sztulman L, Pfeiffer V, Zerwas L, Ritter A, Saenger M, et al. Cardiovascular Risk Score (SCORE2) predicts the incidence and severity of cardiac damage after polytrauma - how to identify at-risk patients? = Шкала оценки сердечно-сосудистого риска (SCORE2) прогнозирует частоту и тяжесть поражения сердца после политравмы — как выявить пациентов из группы риска? *Shock*. 2026; Apr 3. DOI: 10.1097/SHK.0000000000002838.

Younis A, Hanley C, Devitt A. Injury patterns and epidemiology of orthopedic trauma in polytrauma ICU patients: a 10-year retrospective analysis at major trauma hospital = Характер травм и эпидемиология ортопедических повреждений у пациентов с политравмой в отделении интенсивной терапии: 10-летний ретроспективный анализ в крупной травматологической больнице. *Injury*. 2026;57(4):113112. DOI: 10.1016/j.injury.2026.113112.





ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

ПРАВИЛА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ В НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «ПОЛИТРАВМА/POLYTRAUMA»

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Научно-практический журнал «Политравма/Polytrauma» – регулярное печатное издание для клиницистов, научных работников и руководителей органов здравоохранения. Журнал публикует оригинальные статьи по фундаментальным и прикладным теоретическим, клиническим и экспериментальным исследованиям, заметки из практики, дискуссии, обзоры литературы, информационные материалы, посвященные актуальным проблемам политравмы.

Основные разделы журнала: «Передовая статья», «Организация специализированной медицинской помощи», «Оригинальные исследования», «Новые медицинские технологии», «Анестезиология и реаниматология», «Клинические аспекты хирургии», «Клинические аспекты травматологии и ортопедии», «Клинические аспекты нейрохирургии», «Функциональная, инструментальная и лабораторная диагностика», «Реабилитация», «Экспериментальные исследования», «Случай из практики».

Журнал «Политравма/Polytrauma» включен в **Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук** по отраслям науки: 14.01.00 – клиническая медицина; 14.03.00 – медико-биологические науки. Группы специальностей научных работников: 14.01.15 – травматология и ортопедия (медицинские науки), 14.01.17 – хирургия (медицинские науки), 14.03.03 – патологическая физиология (медицинские науки), 14.03.03 – патологическая физиология (биологические науки), 3.1.10. – нейрохирургия (медицинские науки), 3.1.12. – анестезиология и реаниматология (медицинские науки).

ПОРЯДОК ПОДАЧИ РУКОПИСИ

Рукопись должна быть направлена в редакцию в электронном виде в соответствии с нижеизложенными требованиями через сайт журнала <http://poly-trauma.ru> – на странице пользователя, согласно инструкции.

При невозможности или затруднении загрузки на сайт допускается отправка материалов на электронный адрес редакции: mail@poly-trauma.ru – в форме присоединенных файлов.

При подаче рукописи в редакцию журнала необходимо дополнительно предоставить файлы, содержащие сканированные изображения заполненных и заверенных СОПРОВОДИТЕЛЬНЫХ ДОКУМЕНТОВ (в формате *.pdf):

1. **Первая страница рукописи** с визой руководителя учреждения, заверенной печатью.
2. **Письмо-сопровождение** на имя Главного редактора с печатью и подписью руководителя организации, подтверждающее передачу прав на публикацию, с указанием, что: 1) рукопись не находится на рассмотрении в другом издании; 2) не была ранее опубликована; 3) содержит полное раскрытие конфликта интересов; 4) все авторы ее читали и одобрили; 5) в материале нет сведений, не подлежащих опубликованию; 6) автор(ы) несут ответственность за достоверность представленных в рукописи материалов. Письмо должно быть собственноручно подписано всеми авторами.
3. **Информация о конфликте интересов/спонсорстве.** Авторы должны раскрыть потенциальные и явные конфликты интересов, связанные с рукописью. Конфликтом интересов может считаться любая ситуация (финансовые отношения, служба или работа в учреждениях, имеющих финансовый или политический интерес к публикуемым материалам, должностные обязанности и др.), способная повлиять на автора рукописи и привести к сокрытию, искажению данных или изменить их трактовку.

Желательно перечислить источники финансирования работы. Если конфликта интересов нет, то пишется: «Конфликт интересов не заявляется». Выявленное редакцией сокрытие потенциальных и явных конфликтов интересов со стороны авторов может стать причиной отказа в рассмотрении и публикации рукописи.

Необходимо указывать источник финансирования как научной работы, так и процесса публикации статьи (фонд, коммерческая или государственная организация, частное лицо и др.). Указывать размер финансирования не требуется. Если вышеперечисленные аспекты работы проводились без участия спонсоров, авторы должны это также указать. Предоставляется на отдельном листе, отдельным файлом, подписывается всеми авторами.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Редакция журнала «Политравма/Polytrauma» стремится придерживаться неукоснительного соблюдения принципов редакционной этики, изложенных в рекомендациях Международного комитета редакторов медицинских журналов (ICMJE) и международного Комитета по этике научных публикаций (Committee on Publication Ethics – COPE).

Политика конфиденциальности

Персональные данные (имена, места работы, должности, научные звания, телефоны, почтовые адреса и адреса электронной почты), предоставленные авторами редакции журнала «Политравма/Polytrauma», будут использованы исключительно для целей, обозначенных журналом, и не будут подвергаться дополнительной обработке, использоваться для каких-либо других целей или предоставляться другим лицам и организациям.

Информация о соответствии этическим нормам

Проведение и описание всех клинических исследований должно быть в полном соответствии со стандартами CONSORT.

Если в статье имеется описание исследований с участием людей, необходимо указать, соответствовали ли они этическим стандартам биоэтического комитета (входящего в состав учреждения, в котором выполнялась работа), разработанными в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2024 г. Все лица, участвующие в исследовании, должны дать информированное согласие на участие в исследовании.

В статьях, описывающих эксперименты на животных, необходимо указать, что они проводились в соответствии с этическими принципами и нормами, изложенными в Директиве 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях, а также в соответствии с требованиями ГОСТ 33215-2014 и ГОСТ 33216-2014. Копии всех материалов хранятся у авторов. В обоих случаях необходимо указать, был ли протокол исследования одобрен этическим комитетом (с приведением названия соответствующей организации, ее расположения, номера протокола и даты заседания комитета).

Оригинальность и плагиат

Авторы обязаны направлять в редакцию только оригинальные работы. При упоминании работ других авторов необходимо соблюдать точность при цитировании и указании источника. Публикации, которые оказали значительное влияние при подготовке исследования или определили его формат, также должны быть упомянуты.

Все статьи, поступающие в редакцию, проходят обязательную проверку с помощью системы «Антиплагиат».

Множественные, повторные или конкурирующие публикации

Материалы, описывающие содержание одного и того же исследования, не должны публиковаться более чем в одном журнале. Отправка рукописи более чем в один журнал считается неэтичной и неприемлемой. Охраняемые авторским правом материалы, уже опубликованные ранее, не могут быть отправлены в журнал для публикации. Кроме того, материалы, находящиеся на рассмотрении в редакции журнала, не могут быть отправлены в другой журнал для публикации в качестве авторской статьи.

При подаче статьи автор должен информировать редактора обо всех предшествующих представлениях работы, которые могут рассматриваться как дублирующая или двойная публикация. Автор должен предупредить редактора, если в рукописи содержится информация, опубликованная автором в предшествующих сообщениях или представленная для другой публикации. В таких случаях в новой статье должны присутствовать ссылки на предшествующий материал.

В случае выявления неэтичного поведения, даже спустя годы после публикации, редакция вправе отозвать статью из научного оборота.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РУКОПИСИ

Политика разделов. Все рукописи статей, которые подаются в редакцию журнала, должны быть оформлены в соответствии с международными стандартами надлежащей публикационной практики.

При подготовке статей, отражающих результаты рандомизированных клинических исследований с параллельными группами, рекомендуется использовать CONSORT 2010 (The CONSolidated Standards of Reporting Trials – Консолидированные стандарты отчетности исследований).

Исследования с участием лабораторных животных *in vivo* могут опираться на ARRIVE (The ARRIVE Guidelines for Reporting Animal Research – Руководство для отчетности по исследованиям на животных).

Для статей, отражающих результаты обсервационных исследований (случай-контроль или когортное исследование), приемлем стандарт STROBE (The STrengthening the Reporting of OBservational studies in Epidemiology – Руководство по отчетности при обсервационных исследованиях в эпидемиологии).

При подготовке систематических обзоров рекомендуется PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses – Предпочтительные моменты отчетности для систематических обзоров и мета-анализов).

При описании клинических случаев – CARE (The CARE Guidelines: Consensus-based Clinical Case Reporting Guideline Development – Руководство по отчетности о клинических случаях).

При подготовке статей, отражающих результаты качественных исследований – SRQR (Standards for Reporting Qualitative Research: a synthesis of recommendations – Стандарты отчетности качественных исследований: обобщение рекомендаций)

При подготовке статей, отражающих результаты прогностических исследований, – STARD 2015 (An Updated List of Essential Items for Reporting Diagnostic Accuracy Studies – Обновленный список представления результатов исследований по диагностической точности).

Объем полного текста рукописи (оригинальные исследования, лекции, обзоры), в том числе таблицы и список литературы, не должен превышать 5000 слов. Объем статей, посвященных описанию клинических случаев, не более 3000 слов; краткие сообщения и письма в редакцию – в пределах 1500 слов.

Файлы с текстом статьи должны содержать всю информацию для публикации. Текстовая информация предоставляется в редакторе Microsoft Word; таблицы и графики – в Microsoft Excel; фотографии и рисунки – в формате TIF с разрешением 300 точек, векторные изображения – в EPS, EMF, CDR. Размер изображения должен быть не менее 4,5 × 4,5 см, по площади занимать не более 100 см².

Формат текста рукописи. Текст должен быть напечатан шрифтом Times New Roman, размер 14 pt, межстрочный интервал 1,0 pt, размер полей не менее 2,5 см с каждой стороны страницы. Страницы должны быть пронумерованы арабскими цифрами в верхнем или нижнем правом углу, начиная с титульной.

Титульный лист содержит название статьи, фамилии, имена и отчества авторов, полное официальное название учреждения(й), где выполнялась работа на русском и английском языках; фамилию и ученое звание руководителя; фамилию, электронный адрес, телефон и почтовый адрес с индексом автора, ответственного за переписку с редакцией.

Авторство. Данные об авторах указываются в последовательности, которая определяется их совместным решением и подтверждается подписями на титульном листе. Указываются: полные ФИО, место работы всех авторов, их должности. Если в авторском списке представлены более 4 авторов, обязательно указание вклада в данную работу каждого автора.

Иные лица, внесшие вклад в выполнение работы, недостаточный для признания авторства, должны быть перечислены (с их письменного согласия) в разделе «Благодарность» после текста статьи.

Резюме и ключевые слова. Авторское резюме (русский и английский вариант) объемом не более 250 слов должно быть компактным и структурированным и иметь основные разделы: введение; цель; материалы и методы; результаты; заключение. Далее необходимо указать 4-8 ключевых слов (Ключевые слова: ...), способствующих индексированию статьи в поисковых системах.

Рубрикация. Оригинальная статья должна соответствовать общепринятому шаблону: введение, цель и задачи, методы (материал и методы), результаты, обсуждение, заключение (выводы). В больших статьях главы «Результаты» и «Обсуждение» могут иметь подзаголовки. В обзорах, описаниях случаев возможна другая структура текста.

Введение должно содержать краткое описание проблемы, которой посвящено исследование и обоснование актуальности и необходимости проведения работы. В конце раздела содержится цель исследования.

Главная задача раздела «**Материалы и методы**» состоит в максимально ясном изложении дизайна и методов исследования с целью обеспечения воспроизводимости полученных результатов. Методы и процедуры исследования, а также оборудование (с указанием в скобках названия производителя) описываются настолько подробно, насколько это необходимо, чтобы другие исследователи могли воспроизвести полученные результаты. При описании методологии исследования, в обязательном порядке указываются: критерии включения/исключения, описание метода рандомизации, первичные и вторичные конечные точки исследования, описание методов статистического анализа, этические аспекты исследования. Авторам рекомендуется использовать соответствующие рекомендации по структуре отчетности в зависимости от типа исследования согласно «EQUATOR NETWORK».

Раздел «**Материалы и методы**» также должен включать заявление, указывающее, что исследование было одобрено ответственным этическим комитетом (учреждения или национальным) или освобождено от необходимости этой оценки. При отсутствии официального этического комитета в этом заявлении указывается, что исследование проводилось в соответствии с принципами Хельсинкской Декларации.

Персональная информация о пациенте не подлежит опубликованию. Пациент (родитель / опекун) должен дать письменное информированное согласие на публикацию.

Раздел «**Результаты**» должен содержать описание популяции исследования, включая количество выбывших пациентов и причины выбывания из исследования, а также, отклонения от протокола. Должны быть изложены все данные по первичным и вторичным конечным точкам, заявленным в разделе «**Методы**». При этом в тексте следует привести только наиболее важные данные, дополненные таблицами и рисунками. Описываются изменения в тестируемых гипотезах или конечных точках, которые произошли в течение или после окончания исследования.

В разделе «**Обсуждение**» предлагается интерпретация основных результатов исследования и сопоставление их с известными данными отечественной и зарубежной литературы, а также вывод о том, соответствуют ли полученные результаты результатам аналогичных исследований. Необходимо отметить, какой вклад делает выполненная работа в уже имеющиеся знания в данной области. Отмечаются ограничения и недостатки исследования, а также как ограничения данного исследования могут быть преодолены.

Выводы должны сопоставляться с целями исследования и подтверждаться фактами, изложенными в работе.

Статистический анализ. Описание процедуры статистического анализа является неотъемлемым компонентом раздела «Материал и методы». Необходимо привести полный перечень всех использованных статистических методов анализа и критериев проверки гипотез. Недопустимо написание фраз типа «использовались стандартные статистические методы» без их конкретного указания. Обязательно указывается принятый в данном исследовании критический уровень значимости «р» (например, «Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез в данном исследовании принимался равным 0,05»). В каждом конкретном случае указывается фактическая величина достигнутого уровня значимости «р» для используемого статистического критерия (а не просто «р < 0,05» или «р > 0,05»). Кроме того, необходимо указывать

конкретные значения полученных статистических критериев (например, критерий «Хи-квадрат» = 12,3 (число степеней свободы $df = 2$, $p = 0,0001$). Необходимо дать определение всем используемым статистическим терминам, сокращениям и символическим обозначениям (например, M – выборочное среднее, m (SEM) – ошибка среднего, STD – выборочное стандартное отклонение, p – достигнутый уровень значимости).

При использовании выражений типа $M \pm m$ необходимо указать значение каждого из символов, а также объем выборки (n). Если используемые статистические критерии имеют ограничения по их применению, укажите, как проверялись эти ограничения и каковы результаты этих проверок (например, при использовании параметрических методов необходимо указать, как подтверждался факт нормальности распределения выборки). Следует избегать неконкретного использования терминов, имеющих несколько значений (например, существует несколько вариантов коэффициента корреляции: Пирсона, Спирмена и др.). Средние величины не следует приводить точнее, чем на один десятичный знак по сравнению с исходными данными, среднеквадратичное отклонение и ошибку среднего – еще на один знак точнее.

Если анализ данных производился с использованием статистического пакета программ, то необходимо указать название этого пакета и его версию.

Библиографические ссылки должны быть сверены с оригиналами и приведены под заголовком «Литература» на отдельном листе в порядке цитирования либо в алфавитном порядке – для обзоров литературы. В тексте дается ссылка на порядковый номер цитируемой работы в квадратных скобках [1] или [1, 2]. Каждая ссылка в списке – с новой строки (колонкой). Авторы должны использовать не более 15 литературных источников последних 5 лет. В обзорах – до 50 источников.

Согласно требованиям таких международных систем цитирования, как Web of Science и Scopus, список литературы должен быть представлен на русском и на английском языках. За правильность приведенных в списке литературы данных ответственность несут автор(ы).

Библиографическое описание на русском языке выполняется на основе ГОСТ Р 7.0.5-2008 («Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления»). Англоязычная часть библиографического описания должна соответствовать формату, рекомендуемому Американской Национальной Организацией по Информационным стандартам (National Information Standards Organisation – NISO), принятому National Library of Medicine (NLM) для баз данных (Library's MEDLINE/ PubMed database) NLM: <http://www.nlm.nih.gov/citingmedicine>.

В библиографическом описании приводятся фамилии авторов до шести, после чего, для отечественных публикаций следует указать «и др.», для зарубежных – «et al.». При описании статей из журналов указывают в следующем порядке выходные данные: фамилия и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год, том, номер, страницы (от и до). При описании статей из сборников указывают выходные данные: фамилия, инициалы, название статьи, название сборника, место издания, год издания, страницы (от и до).

Иллюстрации (рисунки, графики, схемы, фотографии) представляются отдельными файлами в указанном выше формате. Подписи к иллюстрациям с нумерацией рисунка прилагаются в отдельном файле в формате Microsoft Word. В тексте и на левом поле страницы указываются ссылки на каждый рисунок в соответствии с первым упоминанием в тексте. Иллюстрации должны быть четкими, пригодными для воспроизведения, их количество, включая а, б и т.д., – не более восьми. Для ранее опубликованных иллюстраций необходимо указать оригинальный источник и представить письменное разрешение на воспроизведение от их автора (владельца).

Таблицы нумеруются, если их число более одной, и последовательно цитируются в тексте (приемлемо не больше пяти). Каждый столбец должен иметь краткий заголовок, пропуски в строках (за отсутствием данных) обозначаются знаком тире. На данные из других источников необходима ссылка. Дублирование одних и тех же сведений в тексте, графиках, таблице недопустимо.

Сокращения. Следует ограничиться общепринятыми сокращениями (ГОСТ 7.0.12-2011 для русского и ГОСТ 7.11-78 для иностранных европейских языков), избегая новых без достаточных на то оснований. Аббревиатуры расшифровываются при первом использовании терминов и остаются неизменными по всему тексту. Сокращения, аббревиатуры в таблице разъясняются в примечании.

Английский язык и транслитерация. При транслитерации рекомендуется использовать стандарт BGN/PCGN (United States Board on Geographic Names / Permanent Committee on Geographical Names for British Official Use), рекомендованный международным издательством Oxford University Press, как «British Standard». Для транслитерации текста в соответствии со стандартом BGN можно воспользоваться ссылкой <http://ru.translit.ru/?account=bgn>. Англоязычное название статьи должно быть грамотно с точки зрения английского языка, при этом по смыслу полностью соответствовать русскоязычному названию.

ФИО необходимо писать в соответствии с заграничным паспортом, или так же, как в ранее опубликованных в зарубежных журналах статьях. Авторам, публикующимся впервые и не имеющим заграничного паспорта, следует воспользоваться стандартом транслитерации BGN/PCGN (см. ниже).

Необходимо указывать официальное англоязычное название учреждения. Наиболее полный список названий учреждений и их официальной англоязычной версии можно найти на сайте РУНЭБ eLibrary.ru.

Англоязычная версия резюме статьи должна по смыслу и структуре полностью соответствовать русскоязычной и быть грамотной с точки зрения английского языка.

Для выбора ключевых слов на английском следует использовать тезаурус Национальной медицинской библиотеки США – Medical Subject Headings (MeSH).

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ЖУРНАЛОМ И АВТОРОМ

Представление статьи для публикации в журнале «Политравма/Polytrauma» подразумевает согласие авторов с опубликованными правилами. Редакция журнала ведет переписку с автором, ответственным за связь с редакцией.

Все статьи, поступающие в журнал «Политравма/Polytrauma», проходят предварительную проверку ответственным редактором журнала на соответствие формальным требованиям. На этом этапе статья может быть возвращена авторам на доработку с просьбой устранить ошибки или добавить недостающие данные. Также на этом этапе статья может быть отклонена из-за несоответствия ее целям журнала, отсутствия оригинальности, отсутствия научной значимости.

После предварительной проверки ответственный редактор передает статью эксперту по биомедицинской статистике для проверки корректности выполненного статистического анализа.

В случае положительного ответа статья отправляется рецензенту с указанием сроков рецензирования. Автору отправляется соответствующее уведомление. В спорных случаях редактор может назначить дополнительное рецензирование. Однако окончательное решение принимает главный редактор.

При принятии решения о доработке статьи рецензии и комментарии рецензентов отправляются авторам. На доработку статьи дается 2 месяца. Если в течение этого срока авторы не представили исправленный вариант статьи и не уведомили редакцию о планируемых действиях, статья снимается с регистрации и передается в архив.

При принятии решения об отказе в публикации статьи автору отправляется соответствующее решение редакции и текст рецензий.

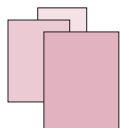
Если принято решение о принятии статьи к публикации, редакция уведомляет авторов о сроках публикации. На электронный адрес автора для переписки высылается корректура, которую необходимо вычитать и вернуть в редакцию с прилагаемым списком исправлений в течение 3 календарных дней. В противном случае статья будет опубликована без авторских правок.

После выхода публикации авторам предоставляется копия статьи в виде файла PDF. Печатный вариант журнала может быть приобретен через агентства по подписке.

Информация о правилах для авторов доступна на сайте журнала:

<http://poly-trauma.ru/index.php/pt/pages/view/rules>





ПОЛИТРАВМА/POLYTRAUMA

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ РЕКЛАМОДАТЕЛЕЙ

Научно-практический журнал «Политравма/Polytrauma» создан в соответствии с рекомендациями Всероссийской научно-практической конференции «Политравма: диагностика, лечение и профилактика осложнений» (29-30 сентября 2005 г., г. Ленинск-Кузнецкий).

Учредителем издания является Благотворительный Фонд центра охраны здоровья шахтеров (г. Ленинск-Кузнецкий).

Главный редактор журнала – Заслуженный врач РФ, д.м.н., профессор, академик РАЕН В.В. Агаджанян.

В редакционную коллегия и редакционный совет журнала входят крупнейшие клиницисты и ученые России, стран СНГ и зарубежья.

Журнал содержит специализированную информацию, посвященную проблемам политравмы. Объем издания 100 страниц. Периодичность издания 4 раза в год.

ЧИТАТЕЛЬСКАЯ АУДИТОРИЯ

Врачи, научные работники, преподаватели и студенты медицинских учебных заведений. Материалы, публикуемые в журнале, будут интересны руководителям учреждений здравоохранения, сотрудникам фирм-производителей медицинской техники, оборудования и расходных материалов.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ

- Редакционная подписка, подписка через почтовые отделения связи.
- Крупнейшие библиотеки России, стран СНГ.
- НИИ травматологии и ортопедии России, стран СНГ и зарубежья, более чем 200 специализированных травматологических центров, институты усовершенствования врачей, медицинские академии и университеты.
- Международные медицинские симпозиумы, научно-практические конференции, круглые столы, ярмарки, выставки.

МЕДИЦИНСКАЯ РЕКЛАМА

Журнал «Политравма/Polytrauma» – это специализированное издание, на страницах которого может размещаться рекламная информация по медицинской тематике.

Публикуемые в журнале рекламные материалы соответствуют Законам Российской Федерации «О рекламе», «О лекарственных средствах», «О наркотических средствах и психотропных веществах».

Журнал оказывает информационную поддержку в продвижении на рынок конкурентоспособной продукции, проектов, научных разработок и высоких технологий.

Приглашаем к сотрудничеству фирмы, научно-исследовательские институты, учреждения здравоохранения, общественные организации, представляющие отрасли современной медицины применительно к тематике журнала.

ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫМ МАКЕТАМ

Для размещения в журнале принимаются готовые макеты только векторных форматов CDR, PDF или EPS. Все текстовые составляющие должны быть переведены в кривые. Растровые составляющие предоставляются в цветовом пространстве CMYK, разрешение 300 dpi (для полноцветных страниц). Для остальных страниц допускается предоставление макетов в формате CDR и EPS в цветовом пространстве CMYK с использованием только цветовых каналов K (black) и M (magenta).

Возможные размеры макетов: 195 × 285 мм, 170 × 120 мм, 170 × 65 мм, 115 × 120 мм, 115 × 80 мм, 55 × 120 мм, 55 × 80 мм

E-mail: mail@poly-trauma.ru

Интернет-сайт: www.poly-trauma.ru