

# РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЕЧЕНИЯ СЛОЖНОГО ОБШИРНОГО ПОСТКРАНИОЭКТОМИЧЕСКОГО ДЕФЕКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТИТАНОВОГО ИМПЛАНТАТА, ИЗГОТОВЛЕННОГО ПУТЕМ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ

## RESULTS OF TREATMENT OF A COMPLEX VAST POSTCRANIOECTOMY DEFECT USING AN INDIVIDUAL TITANIUM IMPLANT MADE BY THREE-DIMENSIONAL PRINTING

**Копорушко Н.А. Koporushko N.A.**  
**Мишинов С.В. Mishinov S.V.**  
**Васильев И.А. Vasilyev I.A.**  
**Ступак Е.В. Stupak E.V.**  
**Копылов И.С. Kopylov I.S.**  
**Беленький В.Я. Belenkiy V.Ya.**  
**Ступак В.В. Stupak V.V.**

ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна»  
Минздрава России,

Научно-исследовательский институт  
клинической и экспериментальной лимфологии – филиал  
ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр  
Институт цитологии и генетики Сибирского отделения  
Российской академии наук»,

г. Новосибирск, Россия

Tsivyan Novosibirsk Research Institute  
of Traumatology and Orthopedics,

Research Institute of Clinical and Experimental  
Lymphology – branch of Federal Research Center Institute  
of Cytology and Genetics of the Siberian Branch  
of the Russian Academy of Sciences,

Novosibirsk, Russia

**Цель** – демонстрация клинического случая закрытия сложного, обширного посткраниоэктомического дефекта, сформированного в результате хирургического лечения, больной с черепно-мозговой травмой индивидуальным имплантатом, изготовленным из титанового порошка с использованием компьютерных и аддитивных технологий.

**Материал и методы.** Представлен клинический случай пациентки, имеющей сложный обширный дефект костей черепа, полученный в результате хирургического лечения черепно-мозговой травмы, которой была последовательно выполнена пластика дефекта твердой мозговой оболочки с последующим замещением дефекта костей черепа индивидуальным титановым имплантатом, изготовленным методом трехмерной печати. Оценка косметического результата проводилась путем тестирования пациентки по разработанной шкале, используемой для оценки косметических результатов после проведенной краниопластики через 2 недели, 6 и 12 месяцев. Клинические результаты оценивались клиничко-неврологическими данными, динамикой ведущих синдромов в клинической картине заболевания, временем проведения операции, наличием и видом послеоперационных осложнений.

**Результаты.** Проведенное двухэтапное хирургическое лечение больной позволило полностью закрыть обширный сложной конфигурации дефект

**Objective** – demonstration of a clinical case of closure of a complex vast postcraniectomy defect formed as a result of surgical treatment, in a patient with a traumatic brain injury with an individual implant made of titanium powder using computer and additive technologies.

**Materials and methods.** The article presents a clinical case of a patient with a complex vast defect of the skull bones obtained as a result of surgical treatment of a craniocerebral injury, who received plasty of a defect of the dura mater, followed by replacement of the defect of the skull bones with an individual titanium implant made by three-dimensional printing. The evaluation of the cosmetic result was carried out by testing the patient according to the developed scale used to evaluate the cosmetic results after cranioplasty at 2 weeks, 6 and 12 months. Clinical results were evaluated by clinical and neurological data, the dynamics of the leading syndromes in the clinical picture of the disease, the time of the operation, the presence and type of postoperative complications.

**Results.** The two-stage surgical treatment of the patient made it possible to completely close the extensive vast skull defect (size of 193 cm<sup>2</sup>)

**Для цитирования:** Копорушко Н.А., Мишинов С.В., Васильев И.А., Ступак Е.В., Копылов И.С., Беленький В.Я., Ступак В.В. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЕЧЕНИЯ СЛОЖНОГО ОБШИРНОГО ПОСТКРАНИОЭКТОМИЧЕСКОГО ДЕФЕКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТИТАНОВОГО ИМПЛАНТАТА, ИЗГОТОВЛЕННОГО ПУТЕМ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ //ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2021. № 3, С. 59-65.

**Режим доступа:** <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/314>

**DOI:** 10.24412/1819-1495-2021-3-59-65

черепе размером 193 см<sup>2</sup> и получить отличный косметический и клинический результат лечения как в раннем, так и в отдаленном послеоперационном периоде.

**Выводы.** Использование индивидуального титанового имплантата, изготовленного методом трехмерной печати, позволяет замещать обширные и сложные посттрепанационные дефекты до 193 см<sup>2</sup> с отличным клиническим и косметическим результатом. Имплантат из титанового порошка, изготовленный при помощи аддитивных технологий, позволяет сократить время хирургического вмешательства, что снижает риски инфицирования. Использование разрезов старого послеоперационного рубца позволило предотвратить кожные осложнения в послеоперационном периоде.

**Ключевые слова:** косметические результаты; дефект костей черепа; черепно-мозговая травма; результат лечения; краниопластика; индивидуальный титановый имплантат; компьютерные и аддитивные технологии

and to obtain excellent cosmetic and clinical results of treatment both in the early and long-term postoperative period.

**Conclusion.** The use of an individual titanium implant made by three-dimensional printing allows replacing extensive and complex post-trepanation defects up to 193 cm<sup>2</sup> with excellent clinical and cosmetic results. An implant made of titanium powder, manufactured using additive technologies, reduces the time of surgical intervention, which reduces the risk of infection. When using incisions of the old postoperative scar, it allowed to prevent skin complications in the postoperative period.

**Key words:** cosmetic results; skull bone defect; craniocerebral trauma; treatment result; cranioplasty; individual titanium implant; computer and additive technologies

Ежегодно большее число официальных дефектов костей черепа формируется после хирургического лечения полученной черепно-мозговой травмы (ЧМТ), менее часто — в результате хирургического лечения больных с нейроонкологией, сосудистой патологией головного мозга, инфекционными поражениями и аномалиями развития костей черепа и головного мозга [1-10]. При развившейся интракраниальной патологии, требующей выполнения декомпрессии головного мозга [3, 5] нередко формируются большие и обширные костные дефекты [8]. Наибольшее клиническое значение хирурги уделяют костным дефектам с площадью более 30 см<sup>2</sup>, вовлекающим сложные анатомические области черепа, так как при таких размерах и локализациях в послеоперационном периоде нередко возникают ликвородинамические нарушения, деформации интракраниальных структур, развивающиеся в результате разницы атмосферного и внутричерепного давления, очаговые неврологические и судорожные синдромы [3, 4]. Наряду с этим пациенты, у которых искусственные костные дефекты локализируются в области, не прикрытой волосным покровом, часто жалуются на наличие обезображивающего косметического дефекта, который вызывает у больного формирование психо-органических синдромов [11-14].

Таким больным с целью замещения дефекта костей черепа, а также восстановления симметрии головы и снижения интенсивности проявления неврологических последствий выполняются реконструктивные хирургические вмешательства

с применением различных материалов [15].

Благодаря внедрению компьютерных и аддитивных технологий в медицинскую практику стало доступным изготовление персонализированных медицинских изделий [16-20]. Краниопластика с использованием индивидуального имплантата позволяет достигать в случаях больших и обширных дефектов черепа как хороших клинических, так и отличных косметических результатов, что создает возможность одномоментного замещения всей площади дефекта [15, 21]. В настоящее время в России для закрытия дефектов черепа используются в основном стандартные титановые перфорированные пластины. Использование данной технологии сдерживается недостаточной оснащенностью нейрохирургических клиник 3D принтерами.

**Цель сообщения** — представить случай закрытия сложного обширного посткраниоэктомического дефекта индивидуальным имплантатом, изготовленным из титанового порошка с использованием компьютерных и аддитивных технологий, у пациентки, перенесшей черепно-мозговую травму.

### ОПИСАНИЕ КЛИНИЧЕСКОГО СЛУЧАЯ

Перед опубликованием данного клинического случая от пациентки было получено добровольное информированное согласие в соответствии с этическими нормами.

Пациентка 32 лет в октябре 2018 г. была госпитализирована в нейрохирургическом отделении № 1 ФГБУ «Новосибирский НИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минз-

драва России для выполнения реконструктивной операции по замещению посткраниоэктомического дефекта.

Жалобы при поступлении: наличие обширного дефекта в лобно-теменно-височных областях с обеих сторон, нарушение речи, острая головная боль, метеочувствительность, общая слабость.

Анамнез заболевания: ЧМТ, полученная в 2018 г. в результате дорожно-транспортного происшествия: ушиб головного мозга тяжелой степени, сдавление мозга вследствие острой эпидуральной гематомы в левой теменно-височной области. В тяжелом состоянии доставлена бригадой скорой медицинской помощи в ближайший стационар, где по неотложным показаниям ей была проведена декомпрессивная трепанация в лобно-теменно-височных областях с обеих сторон и удалена острая эпидуральная гематома из левой лобно-теменно-височной области. Спустя 3,5 недели после операции пациентка была выписана в стабильном удовлетворительном состоянии. Через месяц после выписки из стационара пациентка обратилась в клинику с жалобами на мягкотканное образование в области костного дефекта, головные боли, оставшийся после операции обширный и обезображивающий дефект, дизартрию, метеочувствительность, общую слабость.

После клинико-неврологического осмотра с последующими МРТ- и КТ-обследованиями был поставлен диагноз: «Промежуточный период тяжелого ушиба головного мозга, сопровождающийся обширным напряженным подпапоневрическим ликворным затеком на фоне

дефекта твердой мозговой оболочки (ТМО) в лобно-теменно-височных областях с обеих сторон. Обширный посттравматический дефект костей черепа в лобно-теменно-височной областях с двух сторон. Метеопатический синдром. Дизартрия».

В связи с имеющимся обширным ликворным затеком, пациентке рекомендовано проведение двухэтапного хирургического вмешательства, направленного на реконструкцию дефекта костей черепа.

27.04.2018 был выполнен первый этап, включающий ревизию вторичной ликворной кисты мягких тканей с иссечением ее стенок и пластику дефектов ТМО в левой лобной и правой лобно-теменно-височной областях.

Через 2 недели после первой операции пациентка была выписана из

стационара в удовлетворительном состоянии с назначением динамического амбулаторного наблюдения невролога и нейрохирурга по месту жительства. Послеоперационный период протекал безрецидивно.

По истечении 5 месяцев были выполнены КТ и МРТ головного мозга (рис. 1).

После выполненного дообследования было принято решение о проведении второго этапа хирургического лечения, направленного на замещение костного дефекта в лобно-теменно-височных областях с обеих сторон, с использованием индивидуального титанового имплантата, сформированного с помощью метода трехмерной печати.

06.10.2018 пациентка была госпитализирована повторно для выполнения краниопластики. На рисунке 2 приведена ее фотография перед

вторым этапом хирургического вмешательства.

Обследование в локальном статусе: Дефект неправильной формы, с площадью 193,96 см<sup>2</sup>. Послеоперационные рубцы состоятельны, признаки воспаления и истончения отсутствуют. Кожный лоскут умеренно западает в дефект костей черепа. В области дефекта наблюдается удовлетворительная пульсация прилегающего головного мозга. При пальпации краев костного дефекта кожный покров безболезнен.

В неврологическом статусе сохранялась легкая дизартрия.

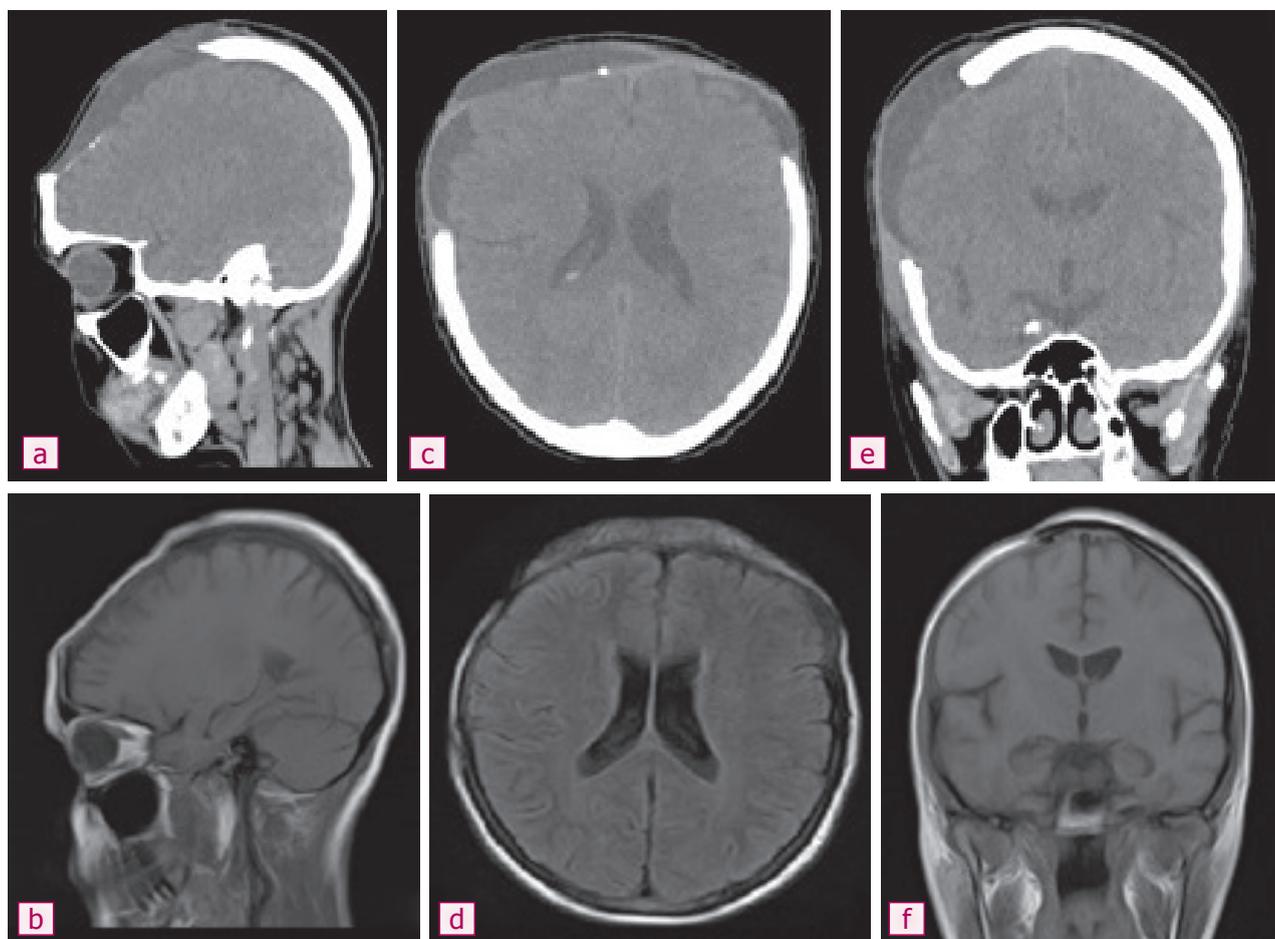
На основе снимков МСКТ с помощью специализированного программного комплекса была смоделирована виртуальная объемная модель черепа и создан виртуальный имплантат для замещения костного дефекта.

#### Рисунок 1

КТ черепа и головного мозга пациентки 32 лет до пластики ТМО (а, с, е) и МРТ головного мозга через 5 месяцев после пластики ТМО (b, d, f)

#### Figure 1

CT of the skull and brain of the patient, age of 32, before dura mater plasty (a, c, e) and MRI of the brain 5 months after dura mater plasty (b, d, f)



Далее из порошкового титана был изготовлен индивидуальный имплантат при помощи технологии прямого лазерного спекания металла.

Больной было выполнено хирургическое вмешательство с целью закрытия костного дефекта черепа индивидуальным имплантатом. Разрез мягких тканей выполнялся по старым послеоперационным рубцам. Кожно-мышечно-апоневротический лоскут был отведен в стороны и зафиксирован крючками, затем острым путем обозначены края костного дефекта. Индивидуальный имплантат был установлен в область костного дефекта и прикреплен к костям 10 самосверлящими винтами. Затем было выполнено послойное ушивание раны. Продолжительность операции составила 110 минут.

В раннем послеоперационном периоде была проведена КТ черепа.

В послеоперационном периоде явления дизартрии регрессировали на 7-е сутки. Рана зажила первичным натяжением, осложнений не было.

Для оценки кровообращения в мягких тканях над имплантатом с помощью тепловизора «SVIT» выполнялись замеры температуры кожных покровов. Температура кожного лоскута составила 36,4°C, формирующегося послеоперационного рубца – 35,6°C и кожных покровов, не подвергавшихся хирургическим манипуляциям, – 36,5°C, что свидетельствовало об отсутствии нарушений кровообращения мягких тканей над всей площадью установленного имплантата (рис. 3).

Для оценки косметического результата выполненного оперативного вмешательства пациентка ответила на ряд вопросов (проведено тестирование по разработанной шкале). Результаты тестирования были равны 24 баллам, что соответствовало отличному косметическому результату. На 15-е сутки после выполнения краниопластики пациентка была выписана в удовлетворительном состоянии, с назначением амбулаторного наблюдения и лечения.

Больная осмотрена через 12 и 24 месяца с момента проведения оперативного вмешательства. Жа-

**Рисунок 2**

**Фотография пациентки 32 лет в профиль и анфас перед выполнением краниопластики**

**Figure 2**

**A side-face and full face picture of the patient, age of 32, before cranioplasty**

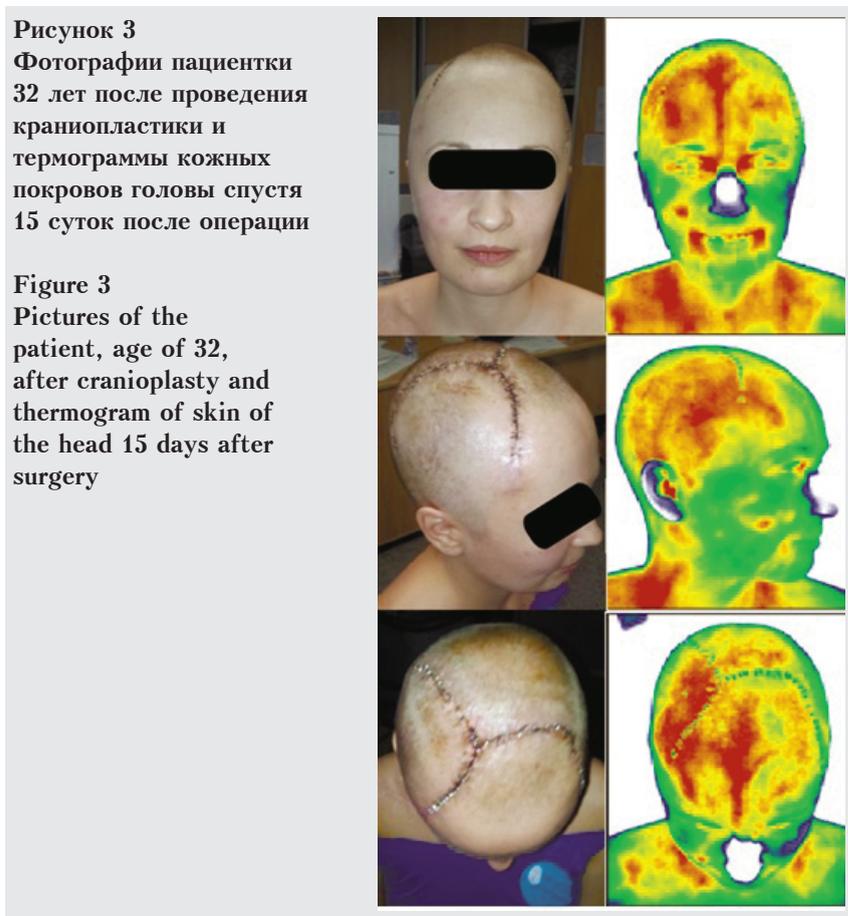


**Рисунок 3**

**Фотографии пациентки 32 лет после проведения краниопластики и термограммы кожных покровов головы спустя 15 суток после операции**

**Figure 3**

**Pictures of the patient, age of 32, after cranioplasty and thermogram of skin of the head 15 days after surgery**



лоб нет. Неврологический статус без патологии. Косметический эффект оценивается как отличный. Метеозависимость прошла. Пациентка вернулась к прежней трудовой деятельности. Фотографии пациентки через 12 и 24 месяца после проведенного лечения представлены на рисунке 4. Имплантат из порошкового титана, изготовленный

по методике прямого лазерного спекания металла с применением трехмерного моделирования и аддитивных технологий, позволил эффективно закрыть обширный посткраниоэктомический дефект у пациентки после перенесенной черепно-мозговой травмы и получить отличный косметический и клинический результат.

**ОБСУЖДЕНИЕ**

Описанный клинический случай наглядно демонстрирует большие возможности и перспективность использования индивидуального титанового имплантата, изготовленного с использованием современных технологий методом компьютерного моделирования и трехмерной печати. Предложенная методика при рациональном планировании тактики лечения и объема хирургического вмешательства позволила достичь отличного клинического и косметического результата.

В мировой литературе [6, 7, 9, 10] имеются исследования, отображающие результаты краниопластики у пострадавших с дефектами костей черепа [16, 22], базирующиеся на различных клинических данных [23-25]. Расценивание клинических результатов основано на динамике неврологической симптоматики, ведущих клинических синдромов в клинической картине заболевания и оценке послеоперационных осложнений в соответствии с классификацией, принятой в ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. академика Н.Н. Бурденко» Минздрава России [4].

Отличный клинический результат хирургического лечения в изложенном нами случае базируется на полном регрессе очаговой неврологической симптоматики в виде исчезновения дизартрии, метеопатического синдрома и отсутствия послеоперационных местных осложнений со стороны мягких тканей и гнойных внутричерепных процессов.

В настоящее время, по литературным данным, оценка удовлетворенности результатами пластических операций проводится по разработанным опросникам, отражающим в основном общее самочувствие и качество жизни оперированных без балльной меры. Fischer С.М. с соавт. в 2012 г. предложил свой вариант опросника [26], в котором также не содержится данных о балльной стратификации и валидации предложенной авторами шкалы. В связи с этим был разработан вариант шкалы оценки косметических исходов реконструктивных операций на черепе, кото-

**Рисунок 4****Фотография пациентки через 2 года после операции****Figure 4****A Picture of the patient 2 years after surgery**

рый дает балльную оценку каждого из параметров. Она основана на ряде шкал, используемых пластическим хирургом Alsarraf R., результаты которых опубликованы в 2000 году [27]. Шкала включает в себя вопросы и предлагаемые на них ответы пациентов, которым выполнено хирургическое вмешательство, с назначением каждому варианту ответов определенного количества баллов. Максимальное количество баллов в одном вопросе равно 4. Оценка косметического результата производилась по общей сумме баллов, и результат трактовался как отличный при сумме от 19 до 24. Предварительно шкала была валидирована с привлечением двух методов надежности: расщепления теста и вычисления коэффициента альфы Кронбаха. Коэффициент достоверности этих методов составил 0,9, что свидетельствовало о надежности шкалы. Установлено, что шкала может применяться в практике для оценки косметических результатов хирургического лечения после реконструктивных вмешательств, направленных на закрытие дефектов черепа [16].

В послеоперационном периоде наша пациентка дала ответы на поставленные ей вопросы, касающиеся удовлетворенности результатами оперативного лечения в соответствии с предложенной шкалой. В

результате тестирования набрано максимальное количество баллов — 24, что соответствовало отличному косметическому результату.

Наряду с использованием индивидуального имплантата отличные результаты лечения обусловлены, во-первых, двухэтапным лечением данной пациентки, позволившем на первом этапе устранить большую ликворную подушку мягких тканей и избежать развития не только ликвореи, но и нагноения мягких тканей и гнойных внутричерепных осложнений; во-вторых, небольшой продолжительностью операции второго этапа, что позволило снизить риск инфицирования, который нередко возникает у данной группы больных. Длительность второго этапа удалось снизить благодаря изготовлению индивидуального имплантата требуемой геометрической формы до проведения операции, что позволило при выделении костных краев незамедлительно приступить к его фиксации самосверлящимися винтами. В-третьих, использование рациональных разрезов мягких тканей черепа по старым послеоперационным рубцам позволило избежать натяжения сократившихся после травмы мягких тканей, нарушения кровообращения в них, и, тем самым, исключить некроз краев раны и ее расхождение. Подтверждением этому является и регистрация с помощью

тепловизора температуры мягких тканей в зоне оперативного вмешательства.

## ВЫВОДЫ

1. Использование индивидуально изготовленного титанового имплантата, изготовленного методом трехмерной печати, позволяет замещать обширные и сложные посттравматические дефекты до 193 см<sup>2</sup> с

отличным клиническим и косметическим результатом.

2. Имплантат из титанового порошка, изготовленный при помощи аддитивных технологий, позволяет сократить время хирургического вмешательства, что снижает риски инфицирования

3. Использование разрезов старого послеоперационного рубца позволило предотвратить кожные ос-

ложнения в послеоперационном периоде.

## 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. Balyazin-Parfenov IV, Balyazin VA, Shelyakina TV, Tarnopolskaya OV. Epidemiology of primary brain tumors in the Rostov region for 2010-2015. *Kuban Scientific Medical Bulletin*. 2016; (3): 15-20. Russian (Балязин-Парфенов И.В., Балязин В.А., Шелякина Т.В., Тарнопольская О.В. Эпидемиология первичных опухолей головного мозга в Ростовской области за 2010-2015 годы //Кубанский научный медицинский вестник. 2016. № 3 С. 15-20.)
2. Karpova EN, Muravyov KA, Muravyova VN, Karpov SM, Shevchenko PP, et al. Epidemiology and risk factors for ischemic stroke. *Modern Problems of Science and Education*. 2015; (4): 441-441. Russian (Карпова Е.Н., Муравьев К.А., Муравьева В.Н., Карпов С.М., Шевченко П.П. и др. Эпидемиология и факторы риска развития ишемического инсульта //Современные проблемы науки и образования. 2015. № 4. С. 441-441.)
3. Koporushko NA, Stupak VV, Mishina SV, Orlov KYu, Astrakov SV, Vardosanidze VK, et al. Etiology and epidemiology of acquired defects of the skull bones obtained in various pathologies of the central nervous system, and the number of patients in need of their closure, on the example of a large industrial city. *Modern Problems of Science and Education*. 2019; (2): 120-130. Russian (Копорушко Н.А., Ступак В.В., Мишинов С.В., Орлов К.Ю., Астраков С.В., Вардосанидзе В.К. и др. Этиология и эпидемиология приобретенных дефектов костей черепа, полученных при различной патологии центральной нервной системы, и число больных, нуждающихся в их закрытии, на примере крупного промышленного города //Современные проблемы науки и образования. 2019. № 2. С. 120-130.) DOI: 10.17513/spno.28660.
4. Konovalov AN, Potapov AA, Lichterman LB, Kornienko VN, Kravchuk AD, Okhlopov VA, et al. Reconstructive and minimally invasive surgery of the consequences of traumatic brain injury. Moscow: T. A. Alekseeva Publ. House, 2012. 320 p. Russian (Коновалов А.Н., Потапов А.А., Лихтерман Л.Б., Корниенко В.Н., Кравчук А.Д., Охлопков В.А. и др. Реконструктивная и минимальноинвазивная хирургия последствий черепно-мозговой травмы. Москва: Т.А. Алексеева, 2012. 320 с.)
5. Jaber J, Gambrell K, Tiwana P, Madden C, Finn R. Long-term clinical outcome analysis of poly-methyl-methacrylate cranioplasty for large skull defects. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2013; 71(2): e81-e88. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joms.2012.09.023>
6. Kelly ML, Shammassian B, Roach MJ, Thomas C, Wagner AK. Craniectomy and craniotomy in traumatic brain injury: a propensity-matched analysis of long-term functional and quality of life outcomes. *World Neurosurgery*. 2018; 118: e974-e981. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.07.124>
7. Koliass AG, Viaroli E, Rubiano AM, Adams H, Khan T, Gupta D, Hutchinson PJ. The current status of decompressive craniectomy in traumatic brain injury. *Current Trauma Reports*. 2018; 4(4): 326-332. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40719-018-0147-x>
8. Park EK, Lim JY, Yun IS, Kim JS, Woo SH, Kim DS, Shim KW. Cranioplasty enhanced by three-dimensional printing: custom-made three-dimensional-printed titanium implants for skull defects. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2016; 27(4): 943-949. DOI: <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000002656>

9. Segal DH, Oppenheim JS, Murovic JA. Neurological recovery after cranioplasty. *Neurosurgery*. 1994; 34(4): 729-731. DOI: 10.1227/00006123-199404000-00024
10. Wiggins A, Austerberry R, Morrison D, Ho KM, Honeybul S. Cranioplasty with custom-made titanium plates – 14 years experience. *Neurosurgery*. 2013; 72(2): 248-256. DOI: <https://doi.org/10.1227/NEU.0b013e31827b98f3>
11. Goh RC, Chang CN, Lin CL, Lo LJ. Customised fabricated implants after previous failed cranioplasty. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*. 2010; 63(9): 1479-1484. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2009.08.010>
12. Lee SC, Wu CT, Lee ST, Chen PJ. Cranioplasty using polymethyl methacrylate prostheses. *Journal of Clinical Neuroscience*. 2009; 16(1): 56-63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2008.04.001>
13. Liu JK, Gottfried ON, Cole CD, Dougherty WR, Couldwell WT. Porous polyethylene implant for cranioplasty and skull base reconstruction. *Neurosurgical Focus*. 2004; 16(3): 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3171/foc.2004.16.3.14>
14. Scholz M, Wehmöller M, Lehmbrock J, Schmieder K, Engelhardt M, Harders A, Eufinger H. Reconstruction of the temporal contour for traumatic tissue loss using a CAD/CAM-prefabricated titanium implant-case report. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*. 2007; 35(8): 388-392. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2007.06.006>
15. Stupak VV, Mishinov SV, Sadovoy MA, Koporushko NA, Mamonova EV, Panchenko AA, Krasovsky IB. Modern materials used to close skull bone defects. *Modern Problems of Science and Education*, 2017; (4): 38. Russian (Ступак В.В., Мишинов С.В., Садовой М.А., Копорушко Н.А., Мамонова Е.В., Панченко А.А., Красовский И.Б. Современные материалы, используемые для закрытия дефектов костей черепа // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 4. С. 38.)
16. Koporushko NA, Mishinov SV, Kangeldiev AE, Stupak VV. Cosmetic results of reconstructive neurosurgical interventions on the skull. *Polytrauma*. 2020; (1): 35-43. Russian (Копорушко Н.А., Мишинов С.В., Кангельдиев А.Э., Ступак В.В. Косметические результаты реконструктивных нейрохирургических вмешательств на черепе //Политравма. 2020. № 1. С. 35-43.) DOI: 10.24411/1819-1495-2020-1000
17. Kravchuk AD, Potapov AA, Panchenko VYa, Komlev VS, Novikov MM, Okhlopov VA, et al. Additive technologies in neurosurgery. *Questions of Neurosurgery named after N. N. Burdenko*. 2018; 82(6): 97-104. Russian (Кравчук А.Д., Потапов А.А., Панченко В.Я., Комлев В.С., Новиков М.М., Охлопков В.А. и др. Аддитивные технологии в нейрохирургии //Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. 2018. Т. 82, № 6. С. 97-104.) DOI: <https://doi.org/10.17116/neiro20188206197>
18. Lim JY, Kim N, Park JC, Yoo SK, Shin DA, Shim KW. Exploring for the optimal structural design for the 3D-printing technology for cranial

- reconstruction: a biomechanical and histological study comparison of solid vs. porous structure. *Child's Nervous System*. 2017; 33(9): 1553-1562. DOI: 10.1007/s00381-017-3486-y
19. Mishinov SV, Stupak VV, Koporushko NA, Samokhin AG, Panchenko AA, Krasovskii IB, et al. Titanium patient-specific implants in reconstructive neurosurgery. *Biomedical Engineering*. 2018; 52(3): 152-155. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10527-018-9802-3>
  20. Parthasarathy J, Starlya B, Ramana S, Christensen A. Mechanical evaluation of porous titanium (Ti6Al4V) structures with electron beam melting (EBM). *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2010; 3(3): 249-259. DOI: 10.1016/j.jmbbm.2009.10.006
  21. Koporushko NA, Mishinov SV, Stupak VV. Clinical results of reconstructive neurosurgical interventions on the skull using computer modeling and three-dimensional printing. *Polytrauma*. 2020; (3): 37-64. Russian (Копорушко Н.А., Мишинов С.В., Ступак В.В. Клинические результаты реконструктивных нейрохирургических вмешательств на черепе с использованием компьютерного моделирования и трехмерной печати // Политравма. 2020. № 3. С. 37-64.) DOI: 10.24411/1819-1495-2020-10033
  22. Sinbukhova EV, Kravchuk AD, Lubnin AYu, Danilov GV, Okhlopov VA, Stepnova LA. Dynamics of cognitive functions in patients with skull defects after reconstructive interventions. *Archive of Internal Medicine*. 2017; (2): 131-138. Russian (Синбухова Е.В., Кравчук А.Д., Лубнин А.Ю., Данилов Г.В., Охлопков В.А., Степно-
  - ва Л.А. Динамика когнитивных функций у пациентов с дефектами черепа после проведения реконструктивных вмешательств // Архив внутренней медицины. 2017. № 2. С. 131-138.) DOI: 10.20514/2226-6704-2017-7-2-131-138
  23. Quah BL, Low HL, Wilson MH, Bimpis A, Nga VD, Lwin S, Salek MAA. Is there an optimal time for performing cranioplasties? Results from a prospective multinational study. *World Neurosurgery*. 2016; 94: 13-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2016.06.081>
  24. Schuss P, Vatter H, Marquardt G, Imöhl L, Ulrich CT, Seifert V, Güresir E. Cranioplasty after decompressive craniectomy: the effect of timing on postoperative complications. *Journal of Neurotrauma*. 2012; 29(6): 1090-1095. DOI: <https://doi.org/10.1089/neu.2011.2176>
  25. Wolff A, Santiago GF, Belzberg M, Huggins C, Lim M, Weingart J, Gordon C. Adult cranioplasty reconstruction with customized cranial implants: preferred technique, timing, and biomaterials. *Journal of Craniofacial Surgery*, 2018; 29(4): 887-894. DOI: 10.1097/SCS.0000000000004385
  26. Fischer CM, Burkhardt JK, Sarnthein J, Bernays RL, Bozinov O. Aesthetic outcome in patients after polymethyl-methacrylate (PMMA) cranioplasty - a questionnaire-based single-centre study. *Neurological Research*. 2012; 34(3): 281-285. DOI: <https://doi.org/10.1179/1743132812Y.0000000007>
  27. Alsarraf R. Outcomes research in facial plastic surgery: a review and new directions. *Aesthetic Plastic Surgery*. 2000; 24(3): 192-197. DOI: <https://doi.org/10.1007/s002660010031>

**Сведения об авторах:**

**Копорушко Н.А.**, к.м.н., врач-нейрохирург, ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, г. Новосибирск, Россия.

**Мишинов С.В.**, к.м.н., старший научный сотрудник отделения нейрохирургии, ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, г. Новосибирск, Россия.

**Васильев И.А.**, к.м.н., научный сотрудник отделения нейрохирургии, ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, г. Новосибирск, Россия.

**Ступак Е.В.**, к.м.н., младший научный сотрудник отделения нейрохирургии, ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, г. Новосибирск, Россия.

**Копылов И.С.**, врач-нейрохирург, ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, г. Новосибирск, Россия.

**Беленький В.Я.**, ассистент лаборатории, НИИКЭЛ филиал ИЦИГ СО РАН, г. Новосибирск, Россия.

**Ступак В.В.**, д.м.н., профессор, начальник научно-исследовательского отделения нейрохирургии, ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, г. Новосибирск, Россия.

**Адрес для переписки:**

Копорушко Н.А., 630091, Российская Федерация, Новосибирская область, г. Новосибирск, ул. Фрунзе, дом 17.

Тел. +7 (913) 765-99-21

E-mail: [nickolai92@mail.ru](mailto:nickolai92@mail.ru)

**Статья поступила в редакцию:** 13.05.2021

**Рецензирование пройдено:** 11.06.2021

**Подписано в печать:** 01.09.2021

**Information about authors:**

**Koropushko N.A.**, candidate of medical sciences, neurosurgeon, Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Novosibirsk, Russia.

**Mishinov S.V.**, candidate of medical sciences, senior researcher at neurosurgery unit, Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Novosibirsk, Russia.

**Vasilyev I.A.**, candidate of medical sciences, researcher at neurosurgery unit, Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Novosibirsk, Russia.

**Stupak E.V.**, candidate of medical sciences, junior researcher at neurosurgery unit, Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Novosibirsk, Russia.

**Kopylov I.S.**, neurosurgeon, Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Novosibirsk, Russia.

**Belenkiy V.Ya.**, assistant at laboratory, Research Institute of Clinical and Experimental Lymphology – branch of Federal Research Center Institute of Cytology and Genetics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia.

**Stupak V.V.**, MD, PhD, professor, chief of research department of neurosurgery, Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Novosibirsk, Russia.

**Address for correspondence:**

Koropushko N.A., Frunze St., 17, Novosibirsk, Russia, 630091

Tel: +7 (913) 765-99-21

E-mail: [nickolai92@mail.ru](mailto:nickolai92@mail.ru)

**Received:** 13.05.2021

**Review completed:** 11.06.2021

**Passed for printing:** 01.09.2021