

ЛАПАРОСКОПИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОВРЕЖДЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНОЙ АРТЕРИИ ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТКРЫТЫХ И ЭНДОВАСКУЛЯРНЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ ПРИ ТРАВМАХ СОСУДОВ

A LAPAROSCOPIC MODEL OF MAJOR ARTERY INJURY FOR COMPARATIVE EVALUATION OF EFFECTIVENESS OF THE OPEN AND ENDOVASCULAR OPERATIONS FOR VASCULAR TRAUMA

Рева В.А. Reva V.A.
Самохвалов И.М. Samokhvalov I.M.
Сохранов М.В. Sokhranov M.V.
Телицкий С.Ю. Telitskiy S.Yu.
Юдин А.Б. Yudin A.B.
Селезнёв А.Б. Seleznev A.B.
Денисов А.В. Denisov A.V.
Адаменко В.Н. Adamenko V.N.
Яблоков И.П. Yablokov I.P.

ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации,

ФГБУ «Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины» Министерства обороны Российской Федерации,

г. Санкт-Петербург, Россия

Kirov Military Medical Academy,

State Scientific Research Testing Institute of Military Medicine,

Saint-Petersburg, Russia

Сосудистая травма представляет одну из наиболее сложных проблем современной хирургии повреждений. Стандартным способом лечения артериальных повреждений является открытая операция, однако эндоваскулярные методы лечения все чаще находят применение при травмах, хотя модели для изучения подобных травм недостаточно представлены в литературе.

Целью нашего исследования явилось создание адекватной экспериментальной модели тяжелого закрытого повреждения магистральной артерии в виде окклюзивного тромбоза просвета сосуда, позволяющей оценивать эффективность открытых и эндоваскулярных вмешательств в остром периоде сосудистой травмы.

Материалы и методы. В остром эксперименте на 7 овцах массой от 25 до 35 кг с применением лапароскопической техники путем многократного наложения-снятия зажимов на левую наружную подвздошную артерию (НПА) достигнуто ее закрытое повреждение с формированием внутрисосудистого тромба. Достижение тромбоза контролировали путем выполнения ангиографии через катетер, заведенный через сонную артерию животного. Изменение скоростных параметров кровотока – пиковой систолической скорости кровотока и индекса пульсатильности – контролировали с помощью ультразвукового аппарата.

Результаты. У 6 из 7 животных удалось успешно добиться полной травматической окклюзии НПА. У одного животного в процессе наложения зажимов произошло повреждение артерии. Среднее время на достижение тромбоза составило 55 (40-70) мин. Формирование тромбоза сопровождалось значимым снижением обоих измеряемых показателей кровотока в левой задней конечности животных по сравнению с правой (интактной) конечностью.

Vascular trauma is one of the most challenging topics in the modern trauma surgery. The standard approach to treatment of arterial trauma is open surgery, but endovascular treatment is used more often in trauma, although the models for investigating such injuries are poorly described in the literature.

Objective – to develop an adequate experimental model of severe blunt injury to the magistral artery presented as occlusive thrombosis of vascular lumen, with ability for evaluating effectiveness of open and endovascular procedures in acute phase of vascular trauma.

Materials and methods. Seven sheep weighting from 25 to 35 kg underwent acute experiments including multiple repeated clamping of the left external iliac artery (EIA) with a blunt injury to the EIA and achievement of the intraluminal thrombus formation. Thrombus achievement was controlled by means of angiography using a catheter placed through the animal's carotid artery. Blood flow velocity parameters – peak systolic blood flow and pulsatility index – were measured with an ultrasound device.

Results. Six out of seven animals underwent successful operation with full traumatic occlusion of the EIA. One animal had its artery perforated during the repeated clamping process. The average time for making thrombosis was 55 (40-70) minutes. Formation of thrombosis was associated with significant reduction of both the measured parameters in the animals' left posterior limbs compared to the right (uninjured) limbs.

Заключение. Разработанная экспериментальная модель позволяет с высокой степенью воспроизводимости проводить сравнительную оценку эффективности открытых и эндоваскулярных вмешательств при закрытых повреждениях магистральных артерий.

Ключевые слова: артериальная травма; хирургия повреждений; эндоваскулярная хирургия; тромбоз; лапароскопия.

Conclusion. The developed experimental model allows performing comparative studies of effectiveness of open and endovascular procedures in closed magistral arterial injuries with a high level of reproducibility.

Key words: arterial trauma; trauma surgery; endovascular surgery; thrombosis; laparoscopy..

Ранения и травмы магистральных артерий конечностей составляют одну из сложнейших проблем современной хирургии повреждений, так как сопровождаются высоким риском ампутации конечности и смерти пострадавшего. Стандартным способом устранения повреждений магистральных артерий при травме является открытое хирургическое вмешательство, требующее, однако, протяженных сосудистых доступов с целью проксимального и дистального контроля кровотечения, что зачастую сопровождается дополнительной травматизацией и кровопотерей [1]. С другой стороны, всё большее распространение получают малоинвазивные эндоваскулярные методы лечения, позволяющие остановить кровотечение и/или восстановить кровоток в конечности воздействием через прокол в бедренной или плечевой/лучевой артерии [2, 3]. Несмотря на все преимущества методов стентирования и эндопротезирования (имплантации стент-графта) артерий, частота их использования по-прежнему слишком мала, в том числе ввиду ряда противопоказаний [3, 4].

Одним из существенных ограничений стентирования магистральных артерий является «свежая» тромботическая окклюзия, нередко сопутствующая повреждению сосудов. Подобное повреждение встречается в каждом пятом случае сосудистой травмы [3]. Теоретически попытка реканализации и проведения стента на системе доставки через свежую окклюзию может привести к эмболизации дистального русла мелкими тромбами с нежелательными последствиями в виде прогрессирования ишемии. Однако экспериментальные и клинические исследования в этой области ограничиваются лишь единичными наблюдениями [5, 6].

Целью нашего исследования явилось создание адекватной экспериментальной модели тяжелого за-

крытого повреждения магистральной артерии в виде окклюзивного тромбоза просвета сосуда, позволяющей оценивать эффективность открытых и эндоваскулярных вмешательств в остром периоде сосудистой травмы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Эксперименты на 7 овцах эдильбаевской породы (самках) массой от 25 до 35 кг были проведены на базе ГНИИИ военной медицины МО РФ (Санкт-Петербург) в соответствии с требованиями «Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и в иных научных целях» (Страсбург, 1986) и «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» (Приложение к приказу Министерства здравоохранения СССР от 12.08.1977 г. № 755). Протокол исследования был одобрен этическим комитетом Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург (№ 163 от 30.06.2015 г.). За сутки перед операцией животных не кормили, оставляя свободный доступ к воде. Премедикацию осуществляли внутримышечным введением препарата Золетил 100 (Virbac, Франция) в дозе из расчета на массу тела, после чего в операционной выполняли интубацию трахеи. Поддержание анестезии проводили переводом животного на дыхание газовой смесью с содержанием 2-4 об.% изофлурана. После размещения животного на операционном столе в положении «на спине» сбрасывали шерсть в области шеи и живота и обрабатывали операционное поле.

Разрезом в проекции сосудистого пучка шеи обнажали левую сонную артерию (СА) и ретроградно устанавливали интродьюсер 6 Fr для мониторинга артериального давления и ангиографии, а также устанавливали интродьюсер 6 Fr в левую яремную вену для

поддерживающей инфузионной терапии (раствор Рингера или Степрофундин (B. Braun, Германия)) со скоростью капельной инфузии 200 мл/ч.

Для моделирования тромбоза с помощью лапароскопии использовали мобильный эндохирургический комплекс КСТ-ЭХ (ЭФА Медика, Санкт-Петербург) с базовым набором эндохирургических инструментов. Под мечевидным отростком в брюшную полость по технике Хассена вводили 10-мм порт и в брюшную полость нагнетали углекислый газ с поддержанием внутрибрюшного давления 15 мм рт. ст. Второй 10-мм порт вводили по срединной линии каудальнее в точке пересечения с условной линией, соединяющей верхние ости подвздошных костей. Два 5-мм порта для манипуляторов вводили кнутри от остей подвздошных костей с обеих сторон (рис. 1). В положении Тренделенбурга на правом боку рассекали париетальную брюшину слева от мочевого пузыря (рис. 2а) и выделяли левую наружную подвздошную артерию (НПА) на протяжении 5-6 см, отводя при этом подвздошно-бедренный лимфатический узел в сторону (рис. 2б). Для моделирования тромбоза среднего участка артерии протяженностью 3 см использовали многократное наложение-снятие лапароскопического диссектора и/или иглодержателя. При этом протяженность участка длиной 3 см определяли по данным ангиографии с использованием рентгеноконтрастной линейки VascuTape® (LeMaitre Vascular Inc., США). Через 30 мин с отжатого с помощью лапароскопических инструментов повреждаемого участка артерии зажимы снимали. В случае сохранения пульсации НПА и сохранения проходимости по данным ангиографии (рис. 3а) процедуру повторяли еще на 15 мин и далее – до достижения тромбоза. При прекращении пульсации выполняли

диагностическую ангиографию, чем подтверждали окклюзивный характер тромбоза (рис. 3b).

Для прохождения острого угла в зоне отхождения от аорты брахиоцефального ствола и катетеризации терминального отдела аорты использовали комбинацию 5 Fr катетера Simmons Side-winder, многоцелевого катетера, заведенных через интродьюсер в СА, и 260-см проводника Emerald (все инструменты Cordis Endovascular, США). С их помощью заводили многоцелевой диагностический катетер 5 Fr в устье левой НПА и с применением С-дуги (SM-20HF, Listem Corporation, Южная Корея) выполняли серию снимков контрастным веществом Сканлюкс-300 (Sanchemia Pharmazeutika AG, Австрия). При получении картины «стоп-контраста» констатировали достижение тромбоза, лапароскопические инструменты удаляли и выполняли десуфляцию брюшной полости. Животных выводили из эксперимента по окончании операции путем внутривенной инъекции концентрированного раствора хлористого калия.

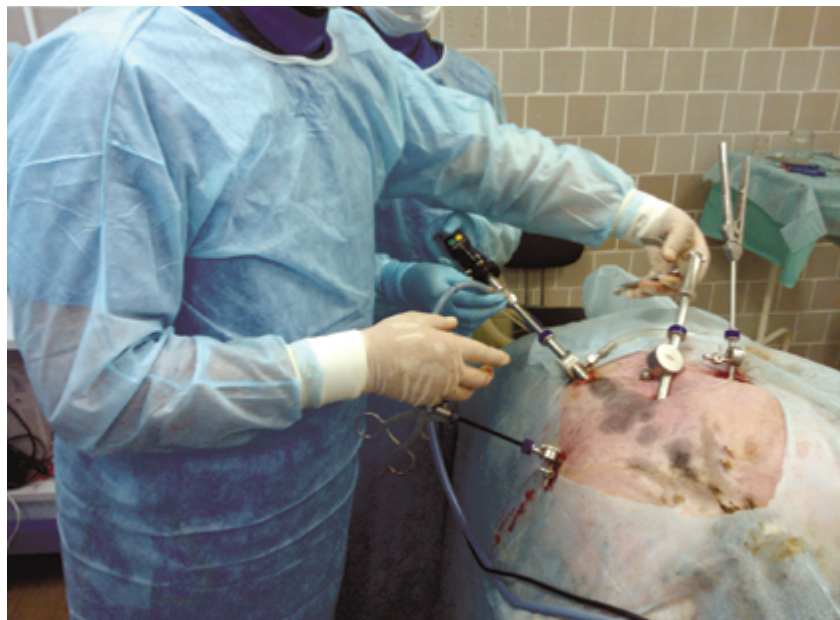
По каждому эксперименту вели протокол исследования, где помимо морфометрических данных и общих

Рисунок 1

Общий вид выполнения операции по лапароскопическому моделированию закрытого окклюзивного травматического тромбоза левой наружной подвздошной артерии

Figure 1

General appearance of surgery with laparoscopic modelling of closed occlusive traumatic thrombosis in the left external iliac artery



сведений об операции учитывали время, затраченное на достижение артериального тромбоза, и количество введенных препаратов.

Данное исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ в рамках научного проекта № 17-73-20318.

Конечные точки исследования и методы статистического анализа

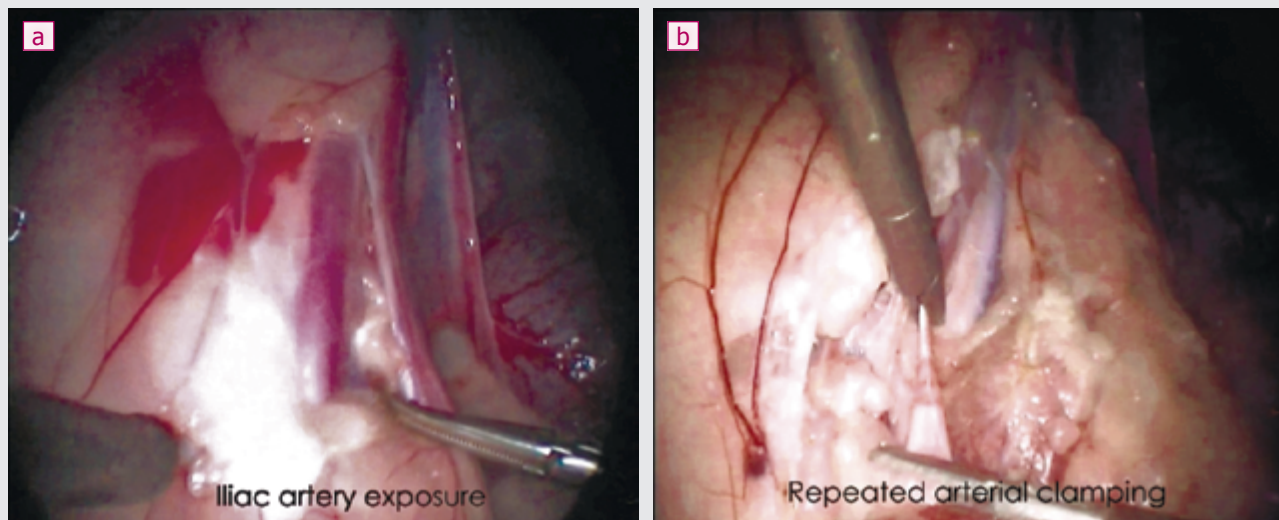
Первичной конечной точкой являлось успешное создание тромботической окклюзии в зоне нанесения ятрогенного повреждения. Для подтверждения тромбоза использовали сочетание ангиографии и ульт

Рисунок 2

Этапы выполнения лапароскопической операции по моделированию артериального тромбоза: а) выделение участка левой наружной подвздошной артерии (НПА) протяженностью 5-6 см; б) наложение зажимов на целевой сегмент НПА протяженностью 3 см

Figure 2

The stages of laparoscopic surgery for modelling arterial thrombosis: a) separation of a region of the left external iliac artery (EIA) over the length of 5-6 cm; b) application of traumatic clamps to the targeted segment of EIA over the length of 3 cm



тразвукового исследования, выполняемых перед началом и в конце эксперимента. Ультразвук использовали для определения основных характеристик кровотока в левой (опытной) и правой (контрольной) поверхностных бедренных артериях (ПБА) – пиковой систолической скорости кровотока (ПССК), измеряемой в см/сек, и индекса пульсатильности (ИП). Данные параметры автоматически вычислялись ультразвуковым сканером S6 Pro (Sonoscare, КНР), исходя из полученного доплеровского спектра (рис. 4 а, б).

К вторичным конечным точкам отнесли осложнения, связанные с лапароскопической операцией и собственно моделированием тромбоза, развитие контраст-индуцированной нефропатии, синдрома ишемии-реперфузии. Для лабораторного подтверждения развития угрожающих жизни осложнений до и после проведения эксперимента выполняли анализ венозной крови для определения уровня мочевины, креатинина, лактата, а также общий анализ крови.

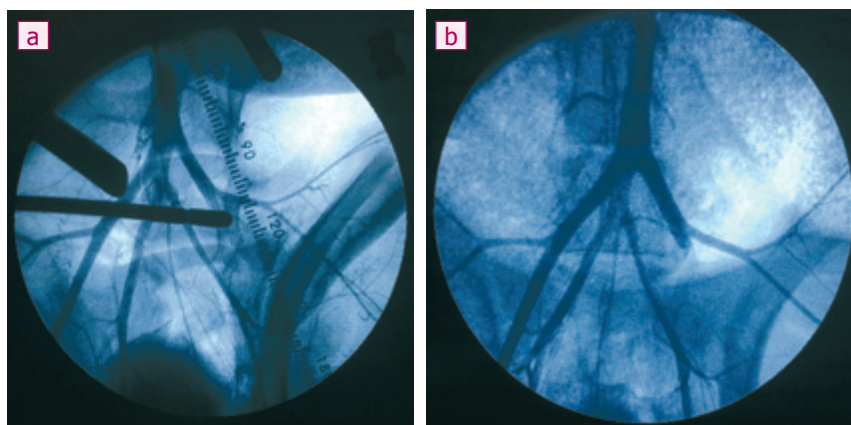
Данные собирали в разработанные карты – протоколы ведения эксперимента и объединяли в таблицу Microsoft Excel (Microsoft,

Рисунок 3

Ангиографическая картина артерий таза овцы в ходе выполнения операции по моделированию окклюзивного тромбоза: а) ангиография во время наложения зажима на левую НПА; б) «стоп-контраст» на уровне наложения зажима свидетельствует об успешном достижении тромбоза

Figure 3

The angiographic picture of pelvic arteries of a sheep during surgery with modelling occlusive thrombosis: a) angiography during placing the clamp onto the left EIA; b) “stop-contrast” at the level of the clamp placement shows the successful achievement of thrombosis



США). Статистический анализ и построение графиков проводили в программах GraphPad Prism 6.0 (GraphPad Software Inc., США) и IBM SPSS Statistics v.21.0 (IBM, США). Переменные проверяли на нормальность распределения и в случае неудовлетворения критериям нормальности

отображали как медиану с указанием в скобках межквартильного интервала. Ультразвуковые параметры между группами сравнивали с помощью двухстороннего теста Манна–Уитни. Критический уровень значимости p при проверке статистических гипотез принимали равным 0,05.

Рисунок 4

Доплеровский спектр в левой бедренной артерии (LSFA) овцы в ходе выполнения эксперимента по моделированию артериального тромбоза левой наружной подвздошной артерии: а) фоновые измерения перед выполнением вмешательства. Виден типичный трехфазный спектр магистрального кровотока; б) доплеровская кривая после моделирования тромбоза в подвздошной артерии. Виден редуцированный коллатеральный кровоток

Figure 4

Doppler spectrum in the left femoral artery (LSFA) of the sheep during the experimental study with modelling arterial thrombosis in the left external iliac artery: a) background measurements before the intervention. A common three-phase spectrum of magistral blood flow is visible; b) the doppler curve after thrombosis modelling in the iliac artery. Reduced collateral blood flow is visible.



РЕЗУЛЬТАТЫ

Ангиографическая характеристика таза и задних конечностей овцы

Полученные данные нативной ангиографии позволили нам уточнить некоторые общие закономерности структуры артериального дерева таза и задних (тазовых) конечностей овец, требуемые для выполнения сосудистых и эндоваскулярных операций. Встречаются, как правило, два основных типа ветвления терминального отдела брюшной аорты, расположенного на уровне 3-4-го поясничных позвонков. При первом варианте аорта в дистальном отделе делится на левую и правую НПА. Далее, как правило, от устья правой НПА единым стволом отходит короткая общая внутренняя подвздошная артерия (ствол), которая, в свою очередь, тотчас распадается на левую и правую внутренние подвздошные артерии (рис. 3а, б). При втором варианте подвздошный ствол отходит от аорты между двумя НПА, формируя так называемую «трифуркацию». Этот ствол также почти сразу делится на правую и левую внутренние подвздошные артерии, кровоснабжающие органы малого таза. НПА длиной 7-8 см еще в полости малого таза разделяется на глубокую артерию бедра (ГАБ) и ПБА, анатомия которых подробно описана в нашей предыдущей работе [7]. В средней части от НПА отходит единственная артерия — глубокая артерия, огибающая подвздошную кость, которую мы клипировали во время лапароскопической операции во избежание ретроградного размывания свертка. Имея сходство с анатомией крупного рогатого скота, у овец зона отхождения этой артерии располагается тотчас под подвздошно-бедренным лимфатическим узлом (средние размеры около 2×3 см), который принимает лимфу от поверхностных паховых лимфатических узлов и дренирует часть лимфы из подвздошных, крестцовых и ректальных лимфатических узлов напрямую в хилезную цистерну (*cisterna chyli*) [8]. Подвздошно-бедренный лимфоузел клинически достаточно важен для моделирования тромбоза, так как

только с помощью его диссекции и отведения возможен полноценный доступ к целевому участку НПА.

Оценка эффективности разработанной модели

В исследование по моделированию тромбоза всего вошли семь подопытных животных средней массой 31,6 (25,5-35,5) кг. Одно животное было досрочно выведено из эксперимента ввиду ятрогенной перфорации левой НПА во время моделирования тромбоза, что потребовало ее перевязки. Остальных 6 животных наблюдали до момента выведения из эксперимента. Общее время анестезии составило 160 (115-195) мин. Животные хорошо переносили инсуффляцию двуокиси углерода с созданием внутрибрюшного давления 15 мм рт. ст. — не было отмечено признаков нестабильности гемодинамики или развития дыхательной недостаточности.

Таким образом, из числа введенных в эксперимент животных у 6 было успешно проведено лапароскопическое моделирование посттравматического артериального тромбоза, что потребовало в среднем 55 (40-70) мин от момента наложения первого зажима до подтверждения картины тромбоза при контрольной ангиографии. Для проведения ангиографии потребовалось 70 (30-80) мл контрастного вещества Сканлюкс-300.

Ультразвуковые и лабораторные параметры исследования

Фоновые показатели ПССК и ИП не отличались между левой (поврежденной) и правой (контрольной) задними конечностями. После моделирования тромбоза отмечено значимое снижение ПССК: 0 (0) см/сек в левой задней конечности относительно 41,0 (22,0-55,0) см/сек в правой задней конечности ($p < 0,0001$). Схожие изменения отмечены также при измерении ИП: 0 (0) слева и 2,24 (1,76-2,63) справа ($p < 0,0001$) (рис. 5). Со стороны биохимических параметров крови не было выявлено значимых изменений как в фоновых показателях, так и в значениях креатинина, мочевины и лактата на момент окончания исследования.

ОБСУЖДЕНИЕ

Данное исследование описывает новую малотравматичную модель для изучения современных способов восстановления проходимости поврежденных артерий, их сравнения с существующим стандартным методом артериальной реконструкции с помощью аутовенозной пластики или синтетического протеза. Описанная модель является продолжением нашей работы по изучению возможности применения эндоваскулярных методов лечения в хирургии повреждений. Ранее мы описывали экспериментальную модель закрытого повреждения ПБА, в которой стандартным открытым способом выделяли бедренную артерию овцы и путем наложения-снятия обычного кровоостанавливающего зажима моделировали острый посттравматический тромбоз [7]. К сожалению, ввиду малого диаметра ПБА (около 4 мм), эта модель мало репрезентативна для исследования сосудистой травмы. Открытое вмешательство на подвздошных артериях диаметром 6-7 мм, в свою очередь, неизменно сопровождается высоким травматизмом, дополнительной кровопотерей, крайне высоким риском инфекционных осложнений после выполнения лапаротомии, что, безусловно, сказывается на результатах основной изучаемой процедуры. Применение лапароскопической техники позволило нам разработать простую модель травматического воздействия на артериальную стенку крупной магистральной артерии, соответствующей по диаметру ПБА, подколенной, подмышечной или плечевой артерии человека, и, с другой стороны, избежать нежелательных последствий лапаротомии.

В нашем исследовании было показано, что создание артериального тромбоза по описанной методике сопровождается значимым снижением скоростных показателей кровотока в поврежденной конечности по сравнению с интактной конечностью, что является адекватным критерием оценки качества разработанной модели.

В литературе описаны единичные попытки разработки экспериментальной модели для оценки эффективности и целесообразности

применения эндоваскулярных технологий при сосудистой травме. Ряд исследователей продемонстрировали высокий уровень соответствия сосудистого русла и системы гемостаза овец таковым у человека. Sejna M. с соавторами использовали овец для изучения биосовместимости различных стентов и стент-графтов после их имплантации в неповрежденные подвздошные артерии [9]. Имплантация была технически успешна во всех случаях, а их 3-месячная проходимость составила 100 %. Teigen C. с соавт. тестировал новую модель бифуркационного протеза на крупных овцах и также не отметили негативных явлений в ходе 6-месячного наблюдения [10]. Tang A.L. с соавт. предложили экспериментальную модель с резекцией 2-см участка ПБА овцы, последующим сведением ее краев узловыми швами во избежание ретракции артериальной стенки и установкой стент-графта, однако эта модель направлена на изучение ранений или разрывов артерий, но не острой тромботической окклюзии [11]. К тому же после двухмесячного периода наблюдения только 5 из 8 стент-графтов остались проходими, несмотря на прием дезагрегантных препаратов. Бразильские исследователи во главе с S. Belczak предложили экспериментальную модель с боковым повреждением (менее и более 50 % диаметра) и полным пересечением сонной артерии свиньи для оценки возможности реканализации поврежденного сегмента с последующей имплантацией стент-графта [12]. Однако авторы и здесь сконцентрировались на ранениях артерий, причем изучали только непосредственный результат стентирования без оценки отдаленных результатов.

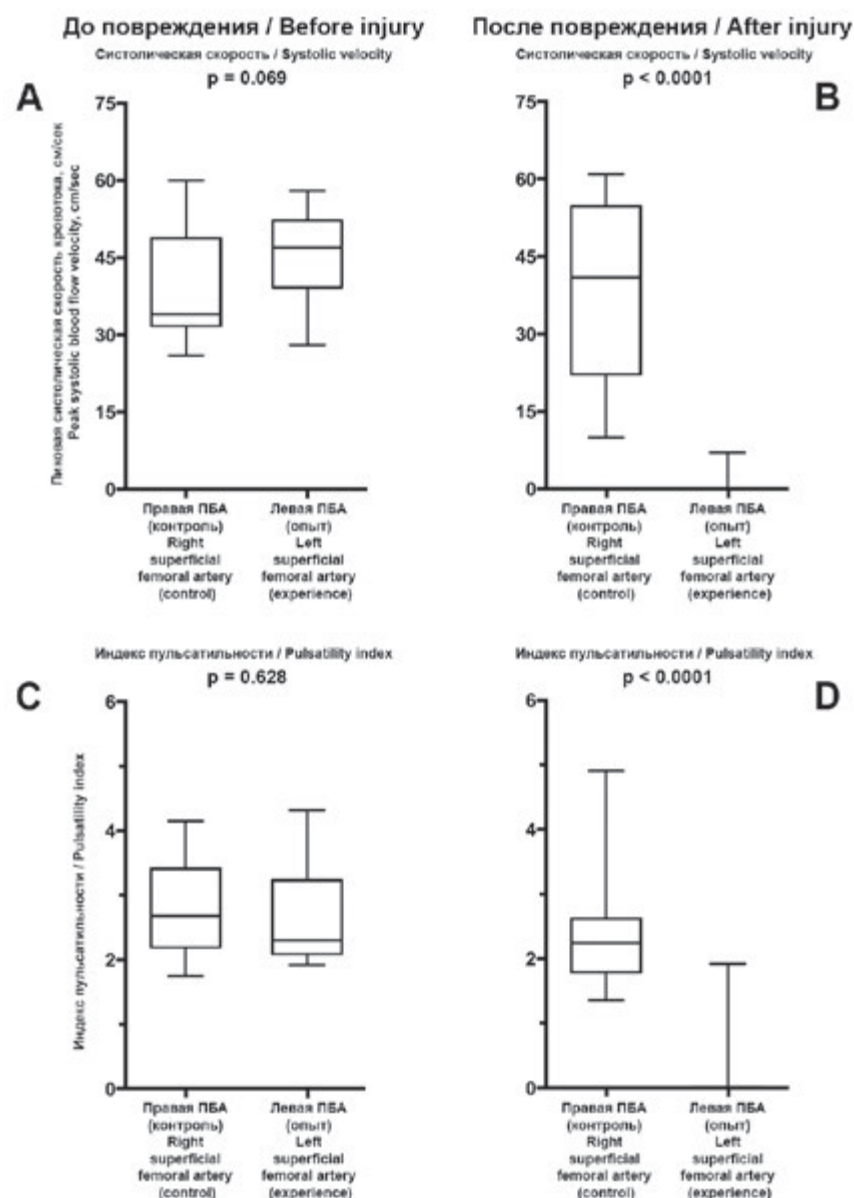
Данные исследования демонстрируют попытку ученых со всего мира оценить в эксперименте эффективность эндоваскулярной хирургии, которая все чаще применяется в лечении сосудистых травм. Так, данные Национального регистра травмы США (NTDB) свидетельствуют о 27-кратном увеличении частоты применения эндоваскулярных операций при травмах в период с 1997 по 2003 г. [3] Несмотря на это, большинство артериальных по-

Рисунок 5

Основные ультразвуковые показатели скорости кровотока (A, B – пиковая систолическая скорость кровотока; C, D – индекс пульсатильности) в поверхностных бедренных артериях (ПБА) левой (опыт) и правой (контроль) конечностей

Figure 5

The main ultrasonic values of blood flow rate (A, B – peak systolic blood flow rate; C, D – pulsatility index) in the superficial femoral arteries (SFA) of the left (the experiment) and right (control) extremities.



вреждений по-прежнему оперируют открыто. Проспективное исследование по лечению сосудистой травмы мирного времени PROOVIT показало, что травматическая окклюзия артерий имеет место в 17,7 % всех сосудистых повреждений [3]. При этом эндоваскулярные методы были применены в лечении только 7,4 % случаев, как правило, для лечения повреждений аорты и подвздошных артерий.

Клинические работы по реканализации тромботических окклюзий при повреждениях магистральных артерий достаточно редки и представлены лишь единичными наблюдениями. В недавней статье F. Rohlfss с соавторами продемонстрировали возможность сквозной реканализации полностью пересеченной и тромбированной подмышечной артерии с последующей имплантацией нескольких стент-граф-

тов [6]. Вся операция заняла всего 45 мин. Признаков дистальной эмболизации артериального русла при этом выявлено не было, а стентированный участок артерии был восстановлен в ходе последующей открытой операции несколько дней спустя. Davidson A.J. с соавторами предложили оригинальную «бесшовную» технику для введения стент-графта непосредственно в дефект артериальной стенки и успешно применили ее в лечении трех пострадавших [13]. Компания Gore® (США) предложила своеобразную модификацию графта, одна часть которого представлена самораскрывающимся стент-графтом Viabahn®, а другая – синтетическим ПТФЭ протезом. Его применение может быть оправдано в случае затруднения доступа к артерии, связанного с формированием обширной гематомы. Пункционное введение в труднодоступный отрезок артерии стент-графта через переднюю стенку позволяет ретроградно заполнить протез и вшить его в любой легкодоступный ревизию участок аорты или крупной артерии. Таким способом M. Lachat с соавторами выполнили реваскуляризацию 82 почечных артерий со 100% эффективностью и хорошими отдаленными результатами [14]. Шунтирование поврежденного участка артерии также возможно с помощью подобной техники, что было продемонстрировано в работе L. Freire с соавторами на модели с перевязкой инфраренальной аорты на свиньях [15]. Zimmerman P. с соавторами описали успешный случай реканализации зоны острого посттравматического тромбоза

подколенной артерии, развившегося вследствие вывиха голени, и имплантации в нее стента [5]. Авторы не использовали защиту от дистальной эмболии и добились хорошего функционального результата, получив по данным ангиографии только короткую окклюзию передней большеберцовой артерии, вероятно, вследствие дистальной эмболизации, что, однако, не сказалось на отдаленном результате.

Наше исследование, безусловно, имеет ряд существенных ограничений. В первую очередь, мы не смогли проследить отдаленные результаты эксперимента и изучить морфологию артериальной стенки в зоне повреждения. Длительное наблюдение за животными не было предусмотрено планом эксперимента, так как он был направлен только на моделирование тромбоза для последующего оперативного вмешательства. По этой же причине невозможно было оценить функцию конечности в динамике после выведения из эксперимента и, соответственно, оценить выраженность синдрома ишемии-реперфузии. И хотя наша предыдущая работа с тромбозом ПБА не показала каких-либо изменений со стороны функции конечности и в данной работе также не было отмечено значимых сдвигов сывороточного лактата, можно предполагать, что длительная окклюзия крупной артерии будет сопровождаться нарушением функции конечности и развитием реперфузионного синдрома в случае восстановления кровотока. Во-вторых, сама лапароскопическая операция может сопровождаться развитием инфекционных

осложнений со стороны брюшной полости, которые также не были оценены в данном эксперименте. Наконец, малое число животных в выборке и отсутствие полноценной контрольной группы также несколько снижает статистическую мощность исследования.

Тем не менее, высокий уровень достоверности полученных отличий между оперированной и здоровой конечностями демонстрирует эффективность разработанной нами лапароскопической модели и позволяет рекомендовать ее для дальнейшего использования в оценке эффективности открытых и эндоваскулярных методов лечения сосудистой травмы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная нами экспериментальная модель формирования острого окклюзивного посттравматического тромбоза крупной артерии с помощью лапароскопической техники является хорошо воспроизводимой и позволяет при правильном исполнении быстро добиться артериального тромбоза. Данная модель может быть использована для сравнительной оценки эффективности и безопасности применения открытых и эндоваскулярных вмешательств на поврежденных артериях.

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. Kauvar DS, Kraiss LW. Vascular trauma. In: Rutherford's vascular surgery. Cronenwett JL, Johnston KW, eds. 8th ed. London: Saunders Elsevier, 2014. P. 2485-2500.
2. Reva VA, Samokhvalov IM. Endovascular surgery in the war. *Angiology and Vascular Surgery*. 2015; 21(2): 166-175. Russian (Рева В.А., Самохвалов И.М. Эндоваскулярная хирургия на войне //Ангиология и сосудистая хирургия. 2015. Т. 21, №2. С. 166-175).
3. DuBose JJ, Savage SA, Fabian TC, Menaker J, Scalea T, Holcomb JB, et al. The American Association for the Surgery of Trauma PROspective Observational Vascular Injury Treatment (PROOVIT) registry: multicenter data on modern vascular injury diagnosis, management, and outcomes. *J. Trauma Acute Care Surg*. 2015; 78: 215-222.

4. Branco BC, DuBose JJ, Zhan LX, Hughes JD, Goshima KR, Rhee P, et al. Trends and outcomes of endovascular therapy in the management of civilian vascular injuries. *J. Vasc. Surg.* 2014; 60: 1297-1307.
5. Zimmerman P, d'Audiffret A, Pillai L. Endovascular repair of blunt extremity arterial injury: case report. *Vasc. Endovascular Surg.* 2009; 43: 211-214.
6. Rohlffs F, Larena-Avellaneda AA, Petersen JP, Debus ES, Kölbl T. Through-and-through wire technique for endovascular damage control in traumatic proximal axillary artery transection. *Vascular.* 2015; 23: 99-101.
7. Reva VA, Morrison JJ, Denisov AV, Seleznev AB, Zhabin AV, Bozhedomova ER, et al. Development of an ovine model of occlusive arterial injury for the evaluation of endovascular interventions. *Vascular.* 2016; 24: 501-509.
8. Budras KD, Habel RE. *Bovine Anatomy*, first edition. Hannover: Schlütersche GmbH & Co. KG, Verlag und Druckerei, 2003. 138 p.
9. Cejna M, Virmani R, Jones R, Bergmeister H, Loewe C, Schoder M, et al. Biocompatibility and performance of the Wallstent and the Wallgraft, Jostent, and Hemobahn stent-grafts in a sheep model. *J. Vasc. Interv. Radiol.* 2002; 13: 823-830.
10. Teigen C, Stanley JRL, Johnson P, Gross C. Preclinical evaluation of the InCraft aortic endograft in a sheep model. *Vascular.* 2014; 22: 13-19.
11. Tang AL, Diven C, Zangbar B, Lubin D, Joseph B, Green DJ, et al. The elimination of anastomosis in open trauma vascular reconstruction: A novel technique using an animal model. *J. Trauma Acute Care Surg.* 2015; 79(6): 937-942.
12. Belczak S, Silva ES da, Aun R., Sincos IR, Belon AR, Casella IB, et al. Endovascular treatment of peripheral arterial injury with covered stents: an experimental study in pigs. *Clinics (Sao Paulo).* 2011; 66: 1425-1430.
13. Davidson AJ, Neff LP, DuBose JJ, Sampson JB, Abbot CM, Williams TK. Direct-site endovascular repair (DSER): A novel approach to vascular trauma. *J. Trauma Acute Care Surg.* 2016; 81(Suppl 2): S138-143.
14. Lachat M, Mayer D, Criado FJ, Pfammatter T, Rancic Z, Genoni M, et al. New technique to facilitate renal revascularization with use of telescoping self-expanding stent grafts: VORTEC. *Vascular.* 2008; 16(2): 69-72.
15. Freire LMD, Gobbi GB, Fabbro IMD, Menezes FH. Experimental model for sutureless proximal anastomosis by the Viabahn Open Revascularization TEchnique (VORTEC). *Braz. J. Cardiovasc. Surg.* 2016; 31(6): 440-443.

Сведения об авторах:

Рева В.А., к.м.н., преподаватель кафедры военно-полевой хирургии, ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Россия.

Самохвалов И.М., д.м.н., профессор, заведующий кафедрой военно-полевой хирургии, ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, заместитель главного хирурга МО РФ, г. Санкт-Петербург, Россия.

Сохранов М.В., к.м.н., начальник отдела научно-исследовательского центра, ФГБУ «Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины» Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Россия.

Information about authors:

Reva V.A., candidate of medical science, professor of military field surgery chair, Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia.

Samokhvalov I.P., MD, PhD, professor, chief of military field surgery chair, Kirov Military Medical Academy, deputy chief surgeon of Ministry of Defense of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia.

Sokhranov M.V., candidate of medical science, chief of department of scientific research center, State Scientific Research Testing Institute of Military Medicine, Saint Petersburg, Russia.

Телицкий С.Ю., к.м.н., начальник научно-исследовательской лаборатории (регистр боевой патологии) научно-исследовательского отдела (Всеармейский медицинский регистр МО РФ) научно-исследовательского центра, ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Россия.

Юдин А.Б., к.м.н., начальник научно-исследовательского центра, ФГБУ «Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины» Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Россия.

Селезнёв А.Б., к.м.н., заместитель начальника научно-исследовательского центра, ФГБУ «Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины» Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Россия.

Денисов А.В., к.м.н., начальник научно-исследовательского отдела (экспериментальной медицины) научно-исследовательского центра, ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Россия.

Адаменко В.Н., старший научный сотрудник НИЛ (военной хирургии) научно-исследовательского отдела (экспериментальной медицины) научно-исследовательского центра, ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Россия.

Яблоков И.П., лаборант-исследователь научно-исследовательского центра, ФГБУ «Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины» Министерства обороны Российской Федерации, г. Санкт-Петербург, Россия.

Адрес для переписки:

Рева В.А., пр. Энгельса, 126/3-15, г. Санкт-Петербург, Россия, 194356

Тел: +7 (921) 374-99-67

E-mail: vreva@mail.ru

Telitskiy S.Yu., candidate of medical science, chief of scientific research laboratory (military pathology register) of scientific research department (All-army medical register of Ministry of Defense of the Russian Federation) of scientific research center, Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia.

Yudin A.B., candidate of medical science, chief of scientific research center, State Scientific Research Testing Institute of Military Medicine, Saint Petersburg, Russia.

Seleznev A.B., candidate of medical science, deputy chief of scientific research center, State Scientific Research Testing Institute of Military Medicine, Saint Petersburg, Russia.

Denisov A.V., candidate of medical science, chief of scientific research department (experimental medicine) of scientific research center, Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia.

Adamenko V.N., senior researcher of research laboratory (military surgery) of scientific research department (experimental medicine) of scientific research center, Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia.

Yablokov I.P., laboratory assistant of scientific research center, State Scientific Research Testing Institute of Military Medicine, Saint Petersburg, Russia.

Address for correspondence:

Reva V.A., Prospect Engelsa, 126/3-15, Saint Petersburg, Russia, 194356

Tel: +7 (921) 374-99-67

E-mail: vreva@mail.ru

