

# РЕГИОНАРНАЯ ПЕРФУЗИЯ И КОНСЕРВАЦИЯ ТАЗА И НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ИХ ВКЛЮЧЕНИЕМ В СИСТЕМНЫЙ КРОВОТОК. РЕЗУЛЬТАТЫ ПИЛОТНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА НА ЖИВОТНЫХ

Бабич А.И.\*<sup>1,6</sup>, Гургенидзе В.В.<sup>2</sup>, Хубезов Л.Д.<sup>3</sup>, Осипов А.В.<sup>4</sup>,  
Завражнов А.А.<sup>5</sup>, Демко А.Е.<sup>1</sup>

DOI: 10.25881/20728255\_2025\_20\_2\_41

<sup>1</sup> ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт имени И.И. Джанелидзе», Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Филиал №1 ФГБУ «1472 ВМКГ» МО РФ, Севастополь

<sup>3</sup> Филиал №4 ФГКУ «1602 ВКГ» МО РФ, Луганск

<sup>4</sup> Федеральный центр медицины катастроф ФГБУ «НМХЦ имени Н.И. Пирогова», Москва

<sup>5</sup> ООО «ММЦ ВТ», Санкт-Петербург

<sup>6</sup> МЧУ ДПО «Клиника Медекс», Севастополь

**Резюме.** Обоснование: сосудистые травмы являются основной причиной летальности и инвалидизации при военных и гражданских травмах. При массовом поступлении пострадавших во время осложненных ЧС, как правило, отсутствует время на высокотехнологичные и длительные операции. Поиск новых эффективных способов, позволяющих увеличить жизнеспособность поврежденного сегмента конечности для обеспечения возможности транспортировки на следующий этап оказания медицинской помощи, представляется крайне актуальным. Ввиду этого, было спланировано и проведено экспериментальное исследование.

Цель: разработать экспериментальную методику регионарной перфузии и консервации таза и нижних конечностей с последующим их включением в системный кровоток, а также провести доклинические испытания разработанного метода на лабораторных животных (самках минипигов).

Материалы и методы: проведено экспериментальное исследование на четырех минипигах, самках массой 40±5 кг каждая и возрастом 4–8 месяцев. Перфузию и консервацию таза и нижних конечностей с последующим их включением в системный кровоток у экспериментальных животных проводили по оригинальной, самостоятельно разработанной методике. Во время процедуры осуществлялся инвазивный мониторинг артериального давления, частоты сердечных сокращений, контроль диуреза, кислотно-основного состояния в артериальной крови, выполнялись нейромيوграфия мышц нижних конечностей, доплеросонография и патологоанатомическое исследование образцов тканей лабораторного животного по временным точкам.

Результаты: во всех четырех случаях эксперимента удалось успешно провести и завершить запланированное хирургическое вмешательство. Каких-либо изменений, определяемых при помощи доплеросонографии, после запуска кровотока в отключенном ранее анатомическом сегменте выявлено не было. Амплитуда биоэлектрической активности мышц до выключения из системного кровотока, а также через 30 и 60 минут после включения изолированного ранее анатомического сегмента не отличалась. Оценка гистологических изменений в поперечнополосатых мышцах изолированного анатомического сегмента, а также ткани печени, легких и почек после включения отключенного сегмента в системный кровоток показала отсутствие некробиотических изменений в тканях и признаков реперфузионного повреждения почек, печени и легких.

Заключение: применение изолированной перфузии перед консервацией и последующее отмывание контура изолированной перфузии перед включением анатомического сегмента в системный кровоток позволяет избежать развития реперфузионных повреждений. Разработанная методика является безопасной и эффективной, позволяет сохранить жизнеспособность мышц таза и конечностей в течение 5 часов и может быть использована в клинической практике.

**Ключевые слова:** изолированная перфузия, консервация конечностей.

## PERFUSION AND PRESERVATION OF THE PELVIS AND LOWER LIMBS WITH THEIR SUBSEQUENT REPLANTATION. RESULTS OF A PILOT EXPERIMENT ON ANIMALS

Babich A.I.\*<sup>1,6</sup>, Gurgeniidze V.V.<sup>2</sup>, Khubezov L.D.<sup>3</sup>, Osipov A.V.<sup>4</sup>,  
Zavrzhnov A.A.<sup>5</sup>, Demko A.E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> St. Petersburg Research Institute named after I. I. Dzhanelidze, St. Petersburg

<sup>2</sup> Branch №1 of the Federal State Budgetary Institution «1472 VMKG», Sevastopol

<sup>3</sup> Branch №4 of FGKU «1602 EKG», Lugansk

<sup>4</sup> Federal Center for Disaster Medicine. FSBI «NMHC named after N.I. Pirogov» Ministry of Health of the Russian Federation

<sup>5</sup> MMC VT LLC, St. Petersburg

<sup>6</sup> MCHU DPO «Clinic Medex» Sevastopol

**Abstract.** Rationale: Vascular injuries are the main cause of mortality and disability in military and civilian injuries. With a massive influx of wounded, there is no time for high-tech and long-term operations. The search for new effective ways to increase the viability of a limb segment damaged with an artery to the next stage of medical care seems extremely relevant.

Objective: to develop a technique for regional perfusion and preservation of the pelvis and lower extremities, followed by their inclusion in the systemic circulation, as well as to conduct preclinical tests of the developed method on laboratory animals (female minipigs).

Materials and methods: An experimental study was conducted on four minipigs, females weighing 40±5 kg each and aged 4–8 months. Perfusion and preservation of the pelvis and lower extremities, followed by their inclusion in the systemic circulation in experimental animals, was performed according to an original, independently developed technique. During the procedure, invasive monitoring of blood pressure, heart rate, control of diuresis, acid-base state in arterial blood was performed, neuromyography of the muscles of the lower extremities, Doppler sonography and pathoanatomical examination of tissue samples of a laboratory animal at time points were performed.

Results: In all four cases of the experiment, the planned surgical intervention was successfully performed and completed. There were no changes detected by Doppler sonography after the start of blood flow in the previously disabled anatomical segment. The amplitude of the bioelectric activity of the muscles before switching off from the systemic circulation, as well as 30 and 60 minutes after switching on the previously isolated anatomical segment did not differ. The assessment of histological changes in the striated muscles of the isolated anatomical segment, as well as liver, lung and kidney tissue after the inclusion of the disconnected segment in the systemic circulation showed the absence of necrobiotic changes in tissues and the absence of signs of reperfusion damage in the kidneys, liver and lungs.

Conclusion: The use of isolated perfusion before preservation and subsequent washing of the contour of isolated perfusion before including the anatomical segment in the systemic circulation avoids the development of reperfusion injuries. The developed technique is safe and effective, allows you to maintain the viability of the pelvic and limb muscles for 5 hours and can be used in clinical practice.

**Keywords:** isolated perfusion, limb preservation.

\* e-mail: babichmed@mail.ru

## Актуальность

Сосудистые травмы являются основной причиной летальности и инвалидизации при военных и гражданских травмах. Частота ранений и закрытых травм кровеносных сосудов в современных военных конфликтах значительно выросла, составляя порядка 10–18% [1]. Частота повреждений магистральных артерий и вен конечностей на войне достигает 60% от всех сосудистых повреждений, не имеет тенденции к снижению и является определяющим фактором ампутаций по первичным и вторичным показаниям [1].

В современных военных конфликтах превалирует массовый характер поступления раненых вследствие того, что эвакуация с поля боя осуществляется после завершения активной фазы боевых действий, которая может занимать длительное время, а использование противником беспилотных летательных аппаратов делает невозможной тактическую авиомедицинскую эвакуацию и значительно удлиняет догоспитальный этап. При массовом поступлении раненых отсутствует время на высокотехнологичные и длительные операции, кроме того, хирурги, оказывающие раннюю специализированную помощь в прифронтовых медицинских пунктах, зачастую не имеют достаточного опыта артериальных реконструкций и приемлемых условий (время, оборудование, расходные материалы,) для их выполнения.

Основным способом временного обеспечения кровотока при повреждениях магистральных артерий, применяемым более 100 лет, является временное протезирование поврежденной артерии, которое сопряжено с большим количеством осложнений. В этой связи поиск новых эффективных способов, позволяющих увеличить жизнеспособность поврежденного с артерией сегмента конечности для транспортировки раненого на следующий этап оказания медицинской помощи, в рамках которого имеются время, необходимые ресурсы и опыт врачей, представляется крайне актуальным [2].

**Цель исследования:** разработать методику регионарной перфузии и консервации таза и нижних конечностей с последующим их включением в системный кровоток, а также провести доклинические испытания разработанного метода на лабораторных животных (самках минипигов).

## Материалы и методы

Исследование проводилось на четырех минипигах, самках массой  $40 \pm 5$  кг каждая и возрастом 4–8 месяцев, в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей от 18 марта 1986 г. За сутки перед операцией животных не кормили, доступ к воде оставляя свободным. С целью премедикации вводили 2 мл препарата «Золетил 100». После доставки животного в операционную его размещали на спине, выполняли трахеостомию, трахеостомическую трубку подключали к аппарату ИВЛ, поддержание анестезии осуществляли

Севофлюраном, при необходимости дополнительно вводили Золетил.

Перфузию и консервацию таза и нижних конечностей с последующим их включением в системный кровоток у экспериментальных животных проводили по следующей оригинальной, самостоятельно разработанной методике: под общим обезболиванием с интубацией трахеи и ИВЛ, после 3-х кратной обработки операционного поля растворами антисептиков и отграничением стерильным операционным материалом выполняли поперечный, циркулярный разрез кожи и подкожной жировой клетчатки на уровне пупка. Пересекали все мышцы, мягкие ткани, брыжейку толстой кишки и толстую кишку, а также голадные сосуды, после чего таз с нижними конечностями оставался фиксирован только позвоночным столбом. Все возможные коллатерали между верхней и нижней половиной тела лабораторного животного пересекались. Выполнялась мобилизация аорты и нижней полой вены ниже почечных сосудов. После завершения мобилизации аорта и нижняя полая вена пережимались сосудистыми зажимами ниже почечных сосудов и пересекались – имитировалось артериальное и венозное повреждение, анатомический сегмент (таз и нижние конечности) полностью отключался от системного кровообращения.

Далее имитировался первичный этап эвакуации экспериментального животного (этап эвакуации пострадавшего) – в течение 90 минут дистальная часть аорты и нижней полой вены оставались открытыми. По завершении данного этапа из аорты выполнялась тромбэктомия зондом фогарти (6 Fr), в дистальные отделы аорты и нижней полой вены устанавливались артериальная (10 Fr) и венозная канюли (14 Fr), осуществлялась изолированная нормотермическая гипероксическая перфузия таза и конечностей в течение 30 мин. Скорость перфузии составляла 800 мл в мин.

После завершения перфузии проводилась консервация отключенного анатомического сегмента раствором НТК Кустодиол путем его введения в аорту через установленную ранее артериальную канюлю. Консервация осуществлялась до поступления из НПВ прозрачного раствора (1–1,5 л раствора).

После завершения консервации таз и нижние конечности обкладывались льдом. Имитировался повторный этап транспортировки (этап эвакуации пострадавшего после оказания квалифицированной помощи) – в течение 6 часов лабораторные животные находились под наркозом без выполнения каких-либо манипуляций. Далее, через ранее установленную артериальную канюлю таз и нижние конечности «отмывались» 1000 мл 0,9% изотонического раствора хлорида натрия и включались в системный кровоток путем сшивания проксимального и дистальных концов аорты (пролен 4/0, непрерывный обвивной шов) и проксимального и дистального концов нижней полой вены (пролен 4/0, непрерывный обвивной шов). Через 1 час после восстановления кровотока в отключенном ранее анатомическом сегменте замерялись

Табл. 1. Параметры, оцениваемые во время проведения эксперимента

| Измеряемый параметр  | После индукции наркоза | 90 мин.* | 150 мин. | 210 мин. | 270 мин. | 330 мин. | 360 мин. | 390 мин.** | 420 мин.*** |
|--|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|-------------|
| Контроль АД, ЧСС   | +                      | +        | +        | +        | +        | +        | +        | +          | +           |
| Темп диуреза   | +                      | +        | +        | +        | +        | +        | +        | +          | +           |
| Газы крови (рН, рСО <sub>2</sub> , раО <sub>2</sub> , НСО <sub>3</sub> , ВЕ)   | +                      |          |          |          |          |          |          | +          | +           |
| Газы крови (рН, рСО <sub>2</sub> , раО <sub>2</sub> , НСО <sub>3</sub> , ВЕ) проксимальнее наложенных зажимов на аорту и НПВ |                        | +        | +        | +        | +        | +        | +        |            |             |
| Газы крови (рН, рСО <sub>2</sub> , раО <sub>2</sub> , НСО <sub>3</sub> , ВЕ) дистальнее наложенных зажимов на аорту и НПВ    |                        | +        | +        | +        | +        | +        | +        |            |             |
| Гемоглобин крови   | +                      |          |          |          |          |          |          | +          | +           |
| Креатинин крови  | +                      |          |          |          |          |          |          | +          | +           |
| Допплерография бедренных артерий   | +                      | +        |          |          |          |          |          | +          | +           |
| Нейромиография мышц нижних конечностей   | +                      | +        |          |          |          |          |          | +          | +           |
| Гистологическое исследование мышц проксимальнее наложенных зажимов   |                        | +        | +        | +        | +        | +        | +        | +          | +           |
| Гистологическое исследование мышц дистальнее наложенных зажимов  |                        | +        | +        | +        | +        | +        | +        | +          | +           |
| Гистологическое исследование ткани печени  | +                      |          |          |          |          |          |          | +          | +           |
| Гистологическое исследование ткани легкого   | +                      |          |          |          |          |          |          | +          | +           |
| Гистологическое исследование ткани почек   | +                      |          |          |          |          |          |          | +          | +           |

Примечание: \* – после пережатия и пересечения аорты и нижней полой вены и индукции кровопотери. \*\* – через 30 минут после запуска кровотока по отключенному ранее анатомическому сегменту. \*\*\* – через 60 минут после запуска кровотока по отключенному ранее сегменту тела.

контрольные параметры, и животное выводилось из эксперимента во время выполнения ИВЛ с максимально высокой концентрацией Севофлюрана и системного введения препарата «Золетил» [5].

По аналогии с исследованием Rohde E. et al. (2021) [6] во время процедуры осуществлялся инвазивный мониторинг артериального давления, частоты сердечных сокращений, контроль диуреза, кислотно-основного состояния в артериальной крови (i-STAT, Abbot, США), выполнялись нейромиография мышц нижних конечностей, доплеросонография (Mindray M6, Китай) и патологоанатомическое исследование образцов тканей лабораторного животного (мышцы, почки, печень, легки) по временным точкам, представленным в таблице 1.

Образцы тканей (почки, печень, мышцы) фиксировали в 10% растворе нейтрального формалина. Ткань обрабатывали обычным способом, после чего заливали в парафин. Микротомия образцов с толщиной срезов 4-5 мкм выполнена на санном микротоме фирмы «Leica». Все полученные срезы окрашивали гематоксилином и эозином. При гистологическом исследовании полуколичественно оценивали выраженность степени изменений в исследуемых органах [4; 7].

Функцию периферической нервной системы оценивали при помощи нейромиоанализатора НМА4-01 НЕЙРОМИАН. Выполняли электромиографию (ЭМГ) и электронеуромиографию (ЭНМГ). Исследовали и анализировали амплитуду ЭМГ-кривой, порог возбудимости, амплитуду М-ответа.

При проведении доплеросонографии оценивали пиковую линейную скорость кровотока на бедренной артерии справа и слева, так же определяли тип кровотока.

При гистологическом исследовании скелетных мышц по 3-балльной шкале оценивали следующие показатели:

- потерю поперечной исчерченности, лизис ядер и наличие некрозов, кровоизлияния, нейтрофильную инфильтрацию, наличие фрагментации мышц и фибрина;
- при оценке эндомизия определяли наличие кровоизлияний, отек и разволокнение фиброзных волокон, нейтрофильную инфильтрацию;
- при анализе перимизия определяли наличие кровоизлияний, отека и разволокнения фиброзных волокон, нейтрофильную инфильтрацию;
- при оценке состояния сосудов оценивали наличие стаза, сладжей, тромбов, разволокнения стенки, наличие острого васкулита, пролиферацию эндотелиоцитов и периваскулярную нейтрофильную инфильтрацию;
- в жировой клетчатке определяли наличие отека, кровоизлияний и нейтрофильной инфильтрации;
- в фасциях определяли отек и разволокнение волокон, наличие кровоизлияний и нейтрофильной инфильтрации, а также фрагментацию и деформацию коллагеновых волокон; в нервных волокнах определяли наличие некрозов и отека [3].

## Результаты

Во всех четырех случаях эксперимента удалось успешно провести и завершить запланированное хирургическое вмешательство.

Во время пережатия аорты и нижней полой вены, моделирования ранения сосудов и кровопотери отмечалось умеренное падение среднего системного артериального давления с 60–80 мм рт. ст. до 35–40 мм рт. ст., что

потребовало введения вазопрессоров – норадреналин в дозировке 0,1–0,3 мкг/кг/мин. массы тела в час. После проведения инфузионной терапии кристаллоидными растворами и стабилизации гемодинамики постепенно снижали дозу вазопрессоров до нуля.

Значения показателей центрального венозного давления, EtCO<sub>2</sub>, газов крови и кислотно-основного состояния оставались в пределах референтных значений на протяжении всего эксперимента. При анализе показателей газов крови в отключенном анатомическом сегменте, перед началом изолированной перфузии отмечался выраженный ацидоз (рН менее 6,0) гипоксемия (PaO<sub>2</sub> менее 10), что соответствовало данным аналогичного исследования Rohde E. et al. (2021) [6]. Темп диуреза оставался нормальным и не снижался как во время

перезатяжения аорты и нижней полой вены, так и после включения в системный кровоток отключенного ранее анатомического сегмента.

При доплеросонографии во всех исследуемых точках на бедренных сосудах определялся магистральный тип кровотока, характеризовавшийся ламинарным кровотоком и наличием на доплерограмме трехфазной кривой (2 антеградных пика и один ретроградный). Каких-либо изменений, определяемых при помощи доплеросонографии, после запуска кровотока в отключенном ранее анатомическом сегменте выявлено не было.

При исследовании функции мышц таза и конечностей была зарегистрирована интерференционная активность 1-го типа без нарушения структуры электромиографии. Амплитуда биоэлектрической активности мышц до выключения из системного кровотока, а также через 30 и 60 мин. после включения изолированного ранее анатомического сегмента не отличалась.

Для оценки морфологических изменений в скелетной мышце было выделено 3 группы (Табл. 2):

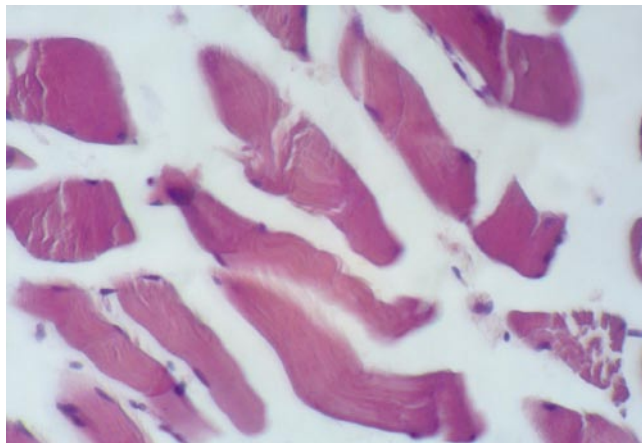
- 1) ткань скелетные мышцы, взятые через 90 мин. после пережатия сосудов;
- 2) скелетные мышцы, взятые из дистального отдела через 270 мин. после изолированной перфузии и консервации отключенного анатомического сегмента;
- 3) скелетные мышцы, взятые из проксимального отдела после включения изолированного анатомического сегмента в кровоток, контролем послужили образцы ткани скелетной мышцы, взятые до начала проведения эксперимента.

Данные, представленные в таблице 2, позволяют видеть, что во всех группах выявлена очаговая потеря поперечной исчерченности скелетных мышц (Рис. 1), часть мышечных волокон – с лизисом ядер.

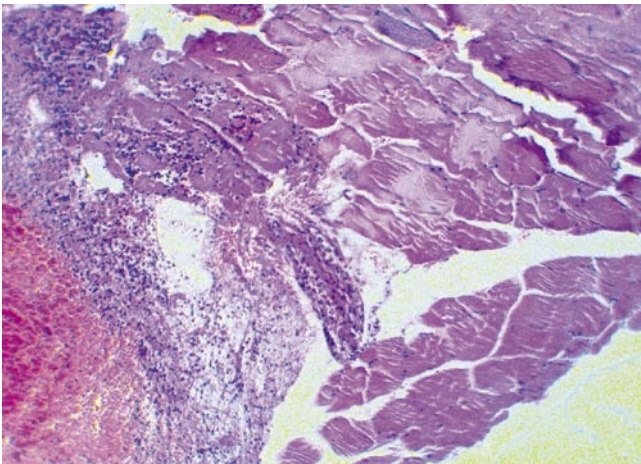
В исследуемых тканях определялись небольшие группы мышечных волокон (преимущественно рядом с фасцией) с увеличением количества ядер, гиперхромными ядрами, местами с их центральным расположением. Наиболее часто изучаемые морфологические признаки

**Табл. 2.** Частота встречаемости морфологических признаков в образцах исследуемых тканей, %

| Признак  | 1 группа<br>n = 4 | 2 группа<br>n = 14 | 3 группа<br>n = 11 |
|--|-------------------|--------------------|--------------------|
| Скелетная мышца                                |                   |                    |                    |
| потеря поперечной исчерченности                | 75                | 95                 | 68,2               |
| лизис ядер и наличие некрозов                  | 100               | 35,7               | 50,0               |
| Кровоизлияния                                  | 25                | 0                  | 18,2               |
| нейтрофильная инфильтрация                     | 25                | 0                  | 0                  |
| Фрагментация                                   | 25                | 25,0               | 36,4               |
| наличие фибрина                                | 25                | 0                  | 0                  |
| Эндомиций                                      |                   |                    |                    |
| Кровоизлияния                                  | 25                | 14,3               | 22,7               |
| отек и разволокнение фиброзных волокон         | 50                | 100                | 63,6               |
| нейтрофильная инфильтрация                     | 0                 | 0                  | 18,2               |
| Перимизий                                      |                   |                    |                    |
| Кровоизлияния                                  | 0                 | 21,4               | 36,3               |
| отек и разволокнение фиброзных волокон         | 50                | 100                | 81,8               |
| нейтрофильная инфильтрация                     | 0                 | 28,6               | 45,5               |
| Сосуды   |                   |                    |                    |
| Стазы  | 25                | 85,7               | 9,1                |
| Сладжи   | 0                 | 14,2               | 0                  |
| тромбы   | 50                | 7,1                | 9,1                |
| разволокнение стенки                           | 50                | 35,7               | 18,2               |
| острый васкулит                                | 50                | 28,6               | 45,5               |
| краевое стояние нейтрофильных лейкоцитов       | 100               | 64,3               | 63,6               |
| пролиферация эндотелиоцитов                    | 100               | 100                | 90,9               |
| периваскулярная нейтрофильная инфильтрация     | 100               | 21,4               | 63,6               |
| Жировая клетчатка                              |                   |                    |                    |
| отек   | 100               | 92,8               | 90,9               |
| кровоизлияния                                  | 50                | 0                  | 36,4               |
| нейтрофильная инфильтрация                     | 75                | 10,7               | 36,4               |
| Фасции   |                   |                    |                    |
| отек и разволокнение волокон                   | 75                | 92,9               | 81,8               |
| кровоизлияний                                  | 25                | 0                  | 0                  |
| нейтрофильная инфильтрация                     | 25                | 39,3               | 18,2               |
| фрагментация и деформация коллагеновых волокон | 25                | 14,3               | 27,3               |



**Рис. 1.** Скелетная мышца. Потеря поперечной исчерченности. Окраска гематоксилином и эозином, ув. 400.



**Рис. 2.** Скелетная мышца. Некроз, кровизлияние с перифокальной нейтрофильной инфильтрацией. Окраска гематоксилином и эозином, ув. 200.

были выявлены в 1-й группе (состояние в которой имитировало ранение). Полуколичественный анализ показал, что в этой же группе наблюдались и самые выраженные изменения. При гистологическом исследовании в данной группе выявлены крупноочаговые некрозы, кровоизлияния с перифокальной нейтрофильной реакцией (Рис. 2).

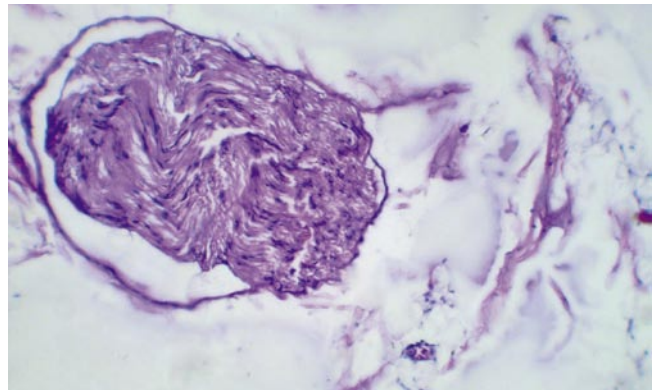
В эндомизии и перимизии во всех исследуемых группах отмечались отек и разволокнение фиброзных волокон, малочисленные мелкоочаговые кровоизлияния. Единичные тромбы в просвете сосудов выявлены только в первой группе.

Кроме этого, во всех исследуемых группах при исследовании периферических нервов выявлены минимальные изменения в виде отека разной степени выраженности (Рис. 3).

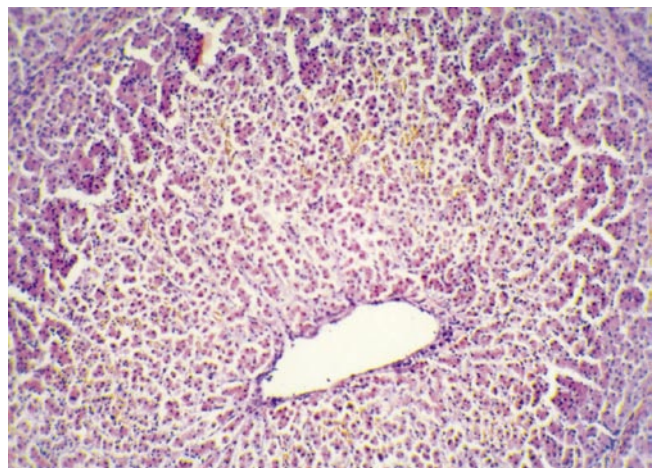
При исследовании печени определяли наличие или отсутствие следующих морфологических признаков: нарушения микроциркуляции (полнокровие, лейкостаз, тромбы), дистрофические изменения гепатоцитов, некроз гепатоцитов, отек стромы, периваскулярный отек, клеточная инфильтрация стромы, дисконплексаия печеночных балок.

В срезах ткани печени были выявлены микроциркуляторные изменения в клубочках и перитубулярных капиллярах, отек стромы, дистрофические изменения, кариолизис ядер и некроз эпителиоцитов проксимальных и дистальных канальцев, слущивание эпителиоцитов и обнажение базальных мембран канальцев. Кроме того, отмечено неравномерное кровенаполнение синусоидов и признаки повышения проницаемости сосудистой стенки с отеком стенок внутрпеченочных сосудов и стромы. В части случаев наблюдалось нарушение архитектоники ткани в виде дисконплексаии печеночных балок (Рис. 4).

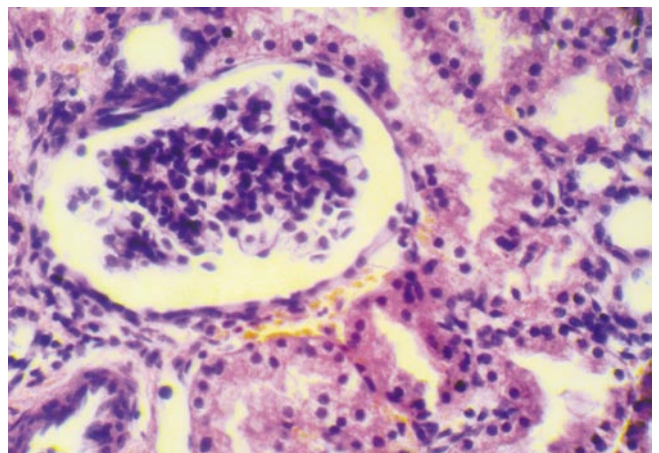
При морфологическом исследовании ткани почек выявлена мозаичность кровенаполнения перитубулярных капилляров в виде чередования малокровных и полнокровных сосудов. Капиллярные петли клубочков были преимущественно малокровны. Со стороны ка-



**Рис. 3.** Периферический нерв. Отек. Окраска гематоксилином и эозином, ув. 400.



**Рис. 4.** Печень. Дисконплексаия печеночных балок за счет отека, очаговое полнокровие синусоидов. Окраска гематоксилином и эозином, ув. 200.



**Рис. 5.** Почка. Зернистая дистрофия и некроз отдельных эпителиоцитов с потерей щеточной каемки. Окраска гематоксилином и эозином, ув. 400.

нальцев выявлены изменения в виде дистрофических изменений эпителия канальцев разной степени выраженности с потерей щеточной каемки (Рис. 5).

**Табл. 3.** Преимущества и недостатки различных методов временного сохранения конечностей при повреждении магистральных артерий и вен

| Показатель   | Временный протез     | Селективная изолированная перфузия                  | Вено-артериальная изолированная перфузия          |
|--|----------------------|---|---|
| Техническая простота                                   | Относительно просто  | Средне сложно (требуется навык сосудистой хирургии) | Сложно (требуется навык эндоваскулярной хирургии) |
| Время выполнения                                       | 30–60 мин.           | 30–60 мин.  | 60–70 мин.  |
| Удобство эвакуации                                     | Удобно               | Неудобно (требуется эвакуация вместе с АИККом)      | Неудобно (требуется эвакуация вместе с АИККом)    |
| Применение при повреждении артерии и вены              | Неэффективно         | Неэффективно  | Неэффективно                                      |
| Применение при повреждении артерии в нескольких местах | Неэффективно         | Неэффективно  | Неэффективно                                      |
| Повреждение вены на протяжении                         | Неэффективно         | Неэффективно  | Неэффективно                                      |
| Реперфузионные повреждения                             | Выражены максимально | В случае отмывания контура не выражены              | Выражены максимально                              |

Вместе с тем, стоит отметить, что при гистологическом исследовании мышц таза и конечностей ни в одном из образцов нервных волокон не определялись некрозы.

Оценка гистологических изменений в поперечно-полосатых мышцах изолированного анатомического сегмента, а также ткани печени, легких и почек после включения отключенного сегмента в системный кровоток показала отсутствие некробиотических изменений в тканях и отсутствие признаков реперфузионного повреждения в почках, печени и легких.

### Обсуждение

В настоящее время в литературе описано три способа сохранения жизнеспособности конечностей при повреждении магистральных артерий: использование временного протезирования артерии (временного шунта), селективная изолированная перфузия конечности, вено-артериальная изолированная перфузия конечности. В таблице 3 указаны преимущества и недостатки каждого метода.

Таким образом, анализ существующих в настоящее время методов сохранения жизнеспособности конечностей при повреждении магистральных сосудов показал, что все предложенные способы не эффективны и сопровождаются развитием тяжелого реперфузионного синдрома. Временное протезирование (шунтирование) артерии и вено-артериальная перфузия мышц конечности не эффективны при одномоментном повреждении магистральной артерии и вены. Кроме того, выполнение вено-артериальной перфузии требует навыков эндоваскулярной хирургии, которые, зачастую, отсутствуют у хирургов, работающих на передовых этапах медицинской эвакуации. Также следует отметить, что транспортировка пострадавшего с работающим аппаратом искусственного кровообращения и набором магистралей в условиях длительной эвакуации является сложно выполнимой задачей.

Отсутствие структурных изменений в нервных волокнах, а также восстановление нормального кровотока, нейромышечной передачи и нормальных

показателей определяемых при доплерографии и электромиографии свидетельствуют об эффективности и безопасности разработанного способа временного сохранения жизнеспособности тканей изолированного таза и конечностей.

Применение изолированной перфузии перед консервацией и последующее отмывание контура изолированной перфузии перед включением анатомического сегмента в системный кровоток позволяет избежать или существенно снизить вероятность развития реперфузионных повреждений.

### Заключение

Разработанный в эксперименте способ сохранения жизнеспособности конечностей обладает следующими особенностями:

- 1) может быть применен при многососудистых повреждениях;
- 2) не требует навыков эндоваскулярной хирургии;
- 3) существенно увеличивает срок жизнеспособности тканей поврежденной конечности.

Рассматриваемая методика – изолированная перфузия и консервация анатомического сегмента представляется безопасной и эффективной, позволяет сохранить жизнеспособность мышц таза и конечностей в течение 5 часов (в эксперименте) и может быть использована в клинической практике наряду с методами реперфузии конечностей в условиях дефицита ресурсов и необходимости длительной эвакуации пострадавших.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).**

### ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Дубров В.Э., Герейханов Ф.Г., Колтович А.П. Ранения магистральных сосудов при боевых термомеханических повреждениях // Политравма. – 2020. – №4. – С.23-29. [Dubrov VJe, Gerejhanov FG, Koltovich AP. Ranenija magistral'nyh sosudov pri boevyh termomehanicheskikh povrezhdenijah. Politravma. 2020; 4: 23-29. (In Russ.)] doi: 10.24411/1819-1495-2020-10042.
2. Рева В.А., Потёмкин В.Д., Баранов М.И., Ершов Е.Н., Татаринцев С.А., Селезнёв А.Б. Временная экстракорпоральная перфузия – альтерна-

- тивная техника поддержания жизнеспособности конечности при повреждении магистральных артерий (экспериментальное исследование) // *Ангиология и сосудистая хирургия. Журнал имени академика А.В. Покровского.* – 2023. – №29(4). – С.108-119. [Reva VA, Potjomkin VD, Baranov MI, Ershov EN, Tatarincev SA, Seleznjov AB. Vremennaja jekstrakorporal'naja perfuzija – al'ternativnaja tehnika podderzhanija zhiznesposobnosti konechnosti pri povrezhdenii magistral'nyh arterij (jeksperimental'noe issledovanie). *Angiologija i sosudistaja hirurgija. Zhurnal imeni akademika A.V. Pokrovskogo.* 2023; 29(4): 108-119. (In Russ.)] doi: 10.33029/1027-6661-2023-29-4-108-119.
3. Kruit AS, Smits L, Pouwels A, et al. Ex-vivo perfusion as a successful strategy for reduction of ischemia-reperfusion injury in prolonged muscle flap preservation – a gene expression study. *Gene.* 2019; 701: 89-97. doi: 10.1016/j.gene.2019.03.021.
  4. Ng ZY, Lellouch AG, Drijkoningen T, Chang IA, et al. Vascularized composite allotransplantation – an emerging concept for burn reconstruction. *Journal of Burn Care & Research.* 2017; 38(6): 371-378. doi: 10.1097/BCR.0000000000000532.
  5. Müller S, Constantinescu M, Kiermeir D. Ischemia/reperfusion injury of porcine limbs after extracorporeal perfusion. *J Surg Res.* 2013; 181: 170-182. doi: 10.1016/j.jss.2012.05.088.
  6. Rohde E, Goudarzi M, Madajka M. Metabolic profiling of skeletal muscle during ex-vivo normothermic limb perfusion. *Mil Med.* 2021; 186: 358-363. doi: 10.1093/milmed/usaa268.
  7. Kueckelhaus M, Fischer S, Sisk G. A mobile extracorporeal extremity salvage system for replantation and transplantation. *Ann Plast Surg.* 2016; 76: 355-360. doi: 10.1097/SAP.0000000000000681.