

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto253610>

# Характеристика *m. Psoas minor* и *m. Sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis* при симультанном моделировании бокового межтелового спондилодеза и заднего артродеза крестцово-подвздошного сустава

Г.Н. Филимонова<sup>1</sup>, О.В. Дюрягина<sup>1</sup>, Н.И. Антонов<sup>1</sup>, М.В. Стогов<sup>1</sup>, С.О. Рябых<sup>2</sup>, Н.В. Тушина<sup>1</sup><sup>1</sup> НМИЦ травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова, Курган, Российская Федерация<sup>2</sup> НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Симультанные хирургические вмешательства на позвоночнике с применением высокотехнологичного инструментария и малоинвазивных методик доступа позволяют одновременно устранить несколько проблем, активизировать пациентов в ранние сроки и уменьшить количество осложнений.

**Цель.** Оценка морфологических изменений малой поясничной и крестцово-каудальной (копчиковой) дорсальной латеральной мышц при симультанном моделировании бокового межтелового спондилодеза и заднего артродеза крестцово-подвздошного сустава.

**Материалы и методы.** Проведены эксперименты на 14 беспородных собаках, 3 особи составили группу контроля. Животным последовательно выполняли боковой межтеловой спондилодез поясничного отдела позвоночника и задний артродез крестцово-подвздошного сустава. Поясничный отдел и крестцово-подвздошный сустав стабилизировали аппаратом внешней фиксации. Парафиновые срезы мышц окрашивали гематоксилином-эозином, по Ван-Гизону, по Массону. На сроках эксперимента проводили биохимический анализ сыворотки крови.

**Результаты.** В ходе морфологического исследования мышц выявлены патогистологические особенности, такие как увеличение разнообразия диаметров миосимпластов, утрата полигональности их профилей, массовая жировая дегенерация волокон, фибрирование эндо- и перимизия, склеротизация оболочек сосудов, облитерация их просветов. По окончании эксперимента степень фиброза малой поясничной мышцы составила 161%, крестцово-каудальной дорсальной латеральной мышцы — 240% от контрольного значения ( $p < 0,05$ ); показатель жировой инфильтрации мышц составил соответственно 339 и 310% от нормы. Более выраженным изменениям подвергается крестцово-каудальная дорсальная латеральная мышца, особенно на ранних этапах эксперимента. Обнаружен достоверно значимый рост активности ферментов — маркеров повреждения скелетных мышц на 14-е сутки после операции.

**Заключение.** При симультанных хирургических вмешательствах на позвоночнике необходимо минимизировать механические воздействия на паравертебральные мышцы, использовать приёмы стимуляции их функции в послеоперационный период, что позволит уменьшить процессы фиброгенеза и жировой инволюции и обеспечит в целом сокращение периода реабилитации целевых пациентов.

**Ключевые слова:** симультанные операции; боковой межтеловой спондилодез; задний артродез; малая поясничная мышца; крестцово-каудальная дорсальная латеральная мышца; биохимия крови.

## Как цитировать:

Филимонова Г.Н., Дюрягина О.В., Антонов Н.И., Стогов М.В., Рябых С.О., Тушина Н.В. Характеристика *m. Psoas minor* и *m. Sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis* при симультанном моделировании бокового межтелового спондилодеза и заднего артродеза крестцово-подвздошного сустава // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2022. Т. 29, № 4. С. 379–390. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto253610>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto253610>

# Characteristics of *m. Psoas minor* and *m. Sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis* in simultaneous modeling of lateral interbodil spinnylodesis and posterior sacro-iliac joint arthodesis

Galina N. Filimonova<sup>1</sup>, Olga V. Diuriagina<sup>1</sup>, Nikolai I. Antonov<sup>1</sup>, Maksim V. Stogov<sup>1</sup>, Sergei O. Ryabykh<sup>2</sup>, Natalia V. Tushina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ilizarov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russia

<sup>2</sup> Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Simultaneous surgical interventions on the spine with the use of high-tech instruments and minimally invasive access techniques allow to eliminate several problems all at once, to activate patients at an early date and to reduce the number of complications.

**AIM:** To evaluate morphological changes to evaluate morphological changes in the *m. Psoas minor* and *m. Sacrocaudalis dorsalis lateralis* during simultaneous modeling of lateral interbody fusion and posterior sacroiliac joint arthrodesis

**MATERIALS AND METHODS:** Experiments were carried out on 14 outbred dogs; 3 animals formed a control group. The animals underwent consecutive lateral interbody fusion of the lumbar spine and posterior arthrodesis of the sacroiliac joint. The lumbar spine and sacroiliac joint were stabilized with external fixation device. Paraffin sections of muscles were stained with hematoxylin-eosin, according to Van Gieson, and Masson. Biochemical analysis of blood serum was performed during the experiment.

**RESULTS:** The morphological study of the muscles revealed pathohistological features such as an increase in the variety of myosinoplasm diameters, loss of their profiles polygonality, massive fibers fatty degeneration, endo- and perimysial fibrosis, sclerotization of vessel membranes, obliteration of their lumens. At the end of the experiment, the degree of the small lumbar muscle fibrosis was 161% and of the sacrocaudal dorsal lateral muscle fibrosis was 240% of the control parameters ( $p < 0.05$ ); the rate of the muscle fatty infiltration was 339 and 310% of the normal value, respectively. The sacroiliac-caudal dorsal lateral muscle underwent more marked changes, especially in the early stages of the experiment. A significant increase in the enzymes activity, skeletal muscle damage markers was detected on the 14th day after surgery.

**CONCLUSION:** Simultaneous surgical interventions on the spine should minimize mechanical effects on the paravertebral muscles and use techniques to stimulate their function in the postoperative period, which will reduce the processes of fibrogenesis and fat involution as well as provide an overall shorter rehabilitation period for the target patients.

**Keywords:** simultaneous operations; lateral interbody fusion; posterior arthrodesis; psoas minor; sacrocaudalis dorsalis lateralis muscle; blood biochemistry.

## To cite this article:

Filimonova GN, Diuriagina OV, Antonov NI, Stogov MV, Ryabykh SO, Tushina NV. Characteristics of *m. Psoas minor* and *m. Sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis* in simultaneous modeling of lateral interbodil spinnylodesis and posterior sacro-iliac joint arthodesis. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2022;29(4):379–390. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto253610>

## ВВЕДЕНИЕ

Симультанные (сочетанные) операции — хирургические воздействия, при которых во время одного оперативного вмешательства осуществляют до пяти различных манипуляций, например, при политравме, при этом уменьшается количество наркозов, сокращается продолжительность лечения и восстановления, снижается общий уровень стресса у пациента [1–3]. Сочетанные хирургические вмешательства на позвоночнике с применением высокотехнологичного инструментария и малоинвазивных методик доступа позволяют одномоментно устранить несколько проблем, активизировать пациентов в ранние сроки и уменьшить количество осложнений [4]. При высокоэнергетических тяжёлых повреждениях грудно-поясничного отдела позвоночника комбинированное хирургическое вмешательство — надёжный метод, позволяющий достичь достаточной декомпрессии, репозиции и реконструкции [5]. Также многоуровневая вертебропластика при множественных компрессионных переломах безопасна и даёт значимые преимущества при одновременном выполнении [6].

При дегенеративном сколиозе поясничного отдела позвоночника используют технологию LLIF [7]. Установлена безопасность и эффективность техники артродеза крестцово-подвздошного сустава (КПС) с титановыми имплантатами для лечения дегенеративного сакроилеита, разрыва сустава [8]. Всё чаще для артродеза КПС применяют треугольные титановые имплантаты, что приводит к быстрому снижению боли и улучшению качества жизни [9–11], хорошие результаты получены при минимально инвазивном артродезе с применением 3D-кейджей (*iFuse Implant System*) [12, 13].

Многочисленны исследования паравертебральных мышц при патологиях позвоночника и после оперативных вмешательств [14–16]. Изучают микроскопические особенности мышечной ткани, такие как диаметры миосимплов, их распределение, особенности профилей, а также инфильтрацию мышечного жира и степень фиброза, атрофию мышц [17, 18]. Работы, посвящённые гистологическим особенностям паравертебральных мышц при сочетанных операциях на позвоночнике с применением техник бокового межтелового спондилодеза поясничного отдела и заднего артродеза КПС, в релевантной литературе выявить не удалось, что определило целесообразность проведения данной работы.

**Цель исследования** — оценка морфологических изменений малой поясничной и крестцово-каудальной (копчиковой) дорсальной латеральной мышц при симультанном моделировании бокового межтелового спондилодеза и заднего артродеза КПС.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Дизайн исследования

Работа выполнена на базе Национального медицинского исследовательского центра травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова в рамках проспективного экспериментального исследования на беспородных собаках обоего пола в возрасте скелетной зрелости, массой тела  $13,0 \pm 4,0$  кг и длиной голени 12–14 см. Уровень доказательности — IIb.

Период выполнения эксперимента 2019–2021 гг. в рамках государственного задания «Разработка и оценка эффективности применения пациент-ориентированных имплантатов в хирургии осевого скелета», направление № 8. Регистрационный № темы НИР: АААА-А18-118011190118-8, период обработки информации 2022 г.

### Этическая экспертиза

Проведение данного исследования было одобрено локальным комитетом по этике ФГБУ «НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова» (протокол от 17.05.2018 г. № 2/57). Животных содержали в вольерах в стандартных условиях вивария в соответствии с ГОСТом 33215–2014 от 22.12.2014 № 73-П «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур»; ГОСТом 33217–2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными хищными млекопитающими».

### Описание экспериментального вмешательства

Главной целью эксперимента было изучение безопасности и первичной эффективности применения 3D-титановых кейджей для межтелового спондилодеза и илеосакрального блокирования. Основную опытную группу составили 14 животных, контрольную группу — 3 особи. Премедикацию осуществляли растворами димедрола 1% (0,02 мг/кг), атропина сульфата 0,1% (0,02 мг/кг), дроперидола 1% (0,5 мг/кг) и рометара 2% (1 мг/кг). Для внутривенного наркоза использовали раствор тиопентала натрия 5% в дозе 10 мг/кг веса. Животных выводили из эксперимента через 6 ( $n=5$ ), 12 ( $n=6$ ) и 18 ( $n=3$ ) мес, эвтаназию выполняли после премедикации с последующим введением летальной дозы барбитуратов.

### Модель эксперимента

Оперативный доступ к поясничному отделу позвоночника осуществляли справа на уровне вершин поперечных отростков поясничных позвонков  $L_{IV-VI}$ , кейдж устанавливали методом вколачивания до полного заглубления в межтеловое пространство (рис. 1, а), рану

последовательно ушивали [19]. 2-й этап операции: для доступа к КПС на уровне  $L_{VII}$  и  $S_{I-II}$  крестцово-каудальную дорсальную латеральную мышцу смещали медиально, формировали ложе для кейджа в суставных поверхностях КПС с захватом прилегающей костной ткани крыла подвздошной кости и крестца, вколачивали имплантат (рис. 1, *b*), рану последовательно ушивали. КПС и поясничный отдел позвоночника стабилизировали аппаратом внешней фиксации Г.А. Илизарова в течение 30 сут.

### Гистологические исследования параспинальных мышц

Малую поясничную (*m. psoas minor*) и крестцово-каудальную (копчиковую) дорсальную латеральную мышцы (*m. sacrocaudalis dorsalis lateralis*) исследовали через 6, 12, 18 мес эксперимента. Фрагменты мышц иссекали с правой стороны от позвоночника в проекции внедрения имплантатов в межтеловое пространство и фиксировали в смеси равных объемов 2% глутарового и 2% параформальдегида. После гистологической проводки материал заливали в парафин, срезы окрашивали гематоксилином-эозином, по Ван-Гизону, трихромным методом по Массону. Изучали посредством стереомикроскопа AxioScope.A1 и встроенной цифровой фотокамеры AxioCam (Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Германия). Изображения использовали для стереометрии. Рассчитывали: объемную плотность ( $\text{мм}^3/\text{мм}^3$ ) мышечных волокон ( $V_{vmf}$ ), микрососудов ( $V_{vmv}$ ), эндомизия ( $V_{vend}$ ), ядерного компонента мышечной ткани ( $V_{vn}$ ); численную плотность ( $\text{мм}^{-2}$ ) миоимплантов и микрососудов ( $N_{Amf}$ ;  $N_{Amv}$ ). Рассчитывали индекс васкуляризации мышцы ( $I_{vasc}$ ), оценивающий косвенно её оксигенацию;  $N_{Amv}/N_{Amf}$  — видовая константа.

### Биохимические исследования сыворотки крови

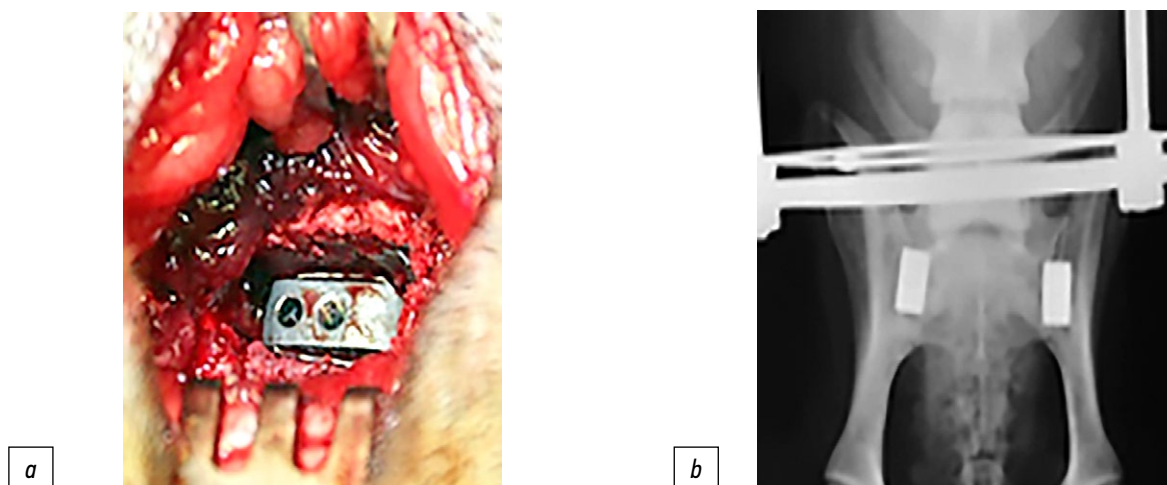
В сыворотке крови на различных сроках эксперимента определяли концентрацию общего белка, С-реактивного белка и маркеры повреждения скелетных мышц: креатинфосфокиназу (КФК), аминотрансферазы (АЛТ и АСТ). Определение общего белка, С-реактивного белка и активность ферментов проводили на биохимическом автоматическом анализаторе Hitachi 902 (США), используя наборы реагентов фирм BioSystem (Испания) и Вектор Бест (РФ, Новосибирск).

### Статистический анализ

*Принципы расчёта размера выборки:* размер выборки предварительно не рассчитывали.

*Методы статистического анализа данных:*

1. Статистический анализ стереометрических данных: а) обработку цифрового материала осуществляли в программе AtteStat версия 13.1 (Россия) [20]; б) определяли среднее арифметическое значение показателей ( $M$ ) и стандартную ошибку средней ( $m$ ); в) достоверность различий оценивали на основании непараметрического  $W$ -критерия Вилкоксона для независимых выборок, уровень статистической значимости различий  $p < 0,05$ .
2. Статистический анализ биохимических данных: а) обработку цифрового материала осуществляли в программе AtteStat версия 13.1 (Россия) [20]; б) достоверность различий между значениями, полученными на сроках эксперимента, сравнивали со значениями, полученными перед операцией (0-е сутки);



**Рис. 1.** Операционное поле: *a* — титановый кейдж между крестцом и крыльями подвздошных костей поясничных позвонков; *b* — положение кейджей в крестцово-подвздошных суставах (крестец).

**Fig 1.** Surgical field: *a* — titanium cage between the sacrum and the wings of the ilium of the lumbar vertebrae; *b* — the position of the cages in the sacroiliac joints (sacrum).

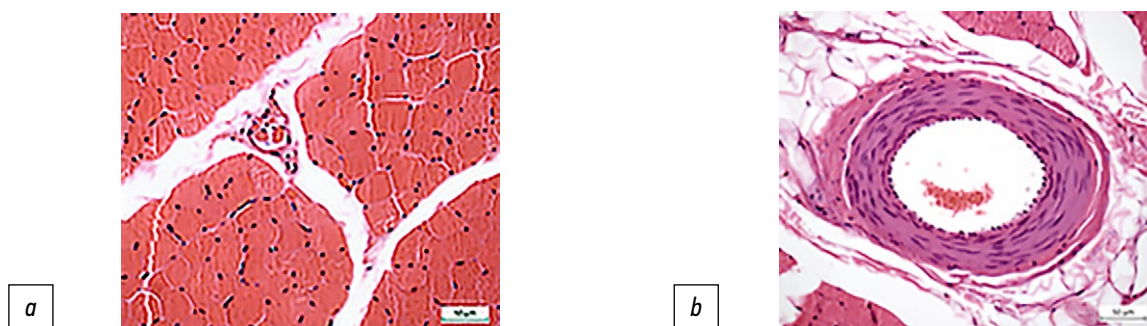
в) различия оценивали с помощью *W*-критерия Вилкоксона для зависимых выборок, результаты представлены в виде медианы, 1-го и 3-го квартилей.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В контрольной группе для гистоструктуры *m. psoas minor* и *m. sacrocaudalis dorsalis lateralis* были характерны полигональные единообразные профили мышечных волокон, минимальные соединительнотканые прослойки (рис. 2, *a*), перимизиальные сосуды артериального звена с открытыми просветами и циркулярной ориентацией гладкомышечных клеток (ГМК), без фиброза оболочек (рис. 2, *b*). Наблюдались немногочисленные миосимпласты с признаками обратимых контрактур, внутримышечные нервные стволики и нервно-мышечные веретёна обычного строения.

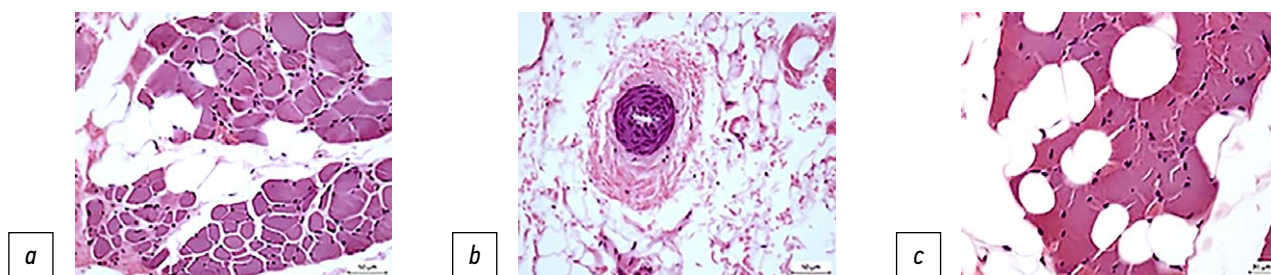
На 6-й месяц эксперимента для обеих мышц были характерны признаки структурной адаптации к условиям экспериментального воздействия, такие как утрата полигональности профилей миоцитами и повышенная вариативность их диаметров, единичные адипоциты и небольшие группы в интерстициальном пространстве, в пучках мышечных волокон, фиброз эндо- и перимизия (рис. 3, *a*, *c*). В артериальных сосудах с существенно утолщённой средней оболочкой, в которой хаотично ориентировались ГМК, адвентициальная оболочка была сильно фиброзирована, просвет зачастую облитерирован (рис. 3, *b*).

Через 12 мес в гистоструктуре малой поясничной мышцы преобладали полигональные профили миосимпластов, было характерно нормостроение внутримышечных нервных проводников и нервно-мышечных веретён (рис. 4, *a*). В крестцово-каудальной дорсальной



**Рис. 2.** Гистоструктура *m. psoas minor* (*a*) и *m. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis* (*b*) в контроле: полигональные профили волокон, минимум эндомизия; *a* — нервно-мышечное веретено; *b* — сосуд в перимизии без признаков патологии. Фрагменты парафиновых срезов, окраска гематоксилином-эозином; увеличение  $\times 400$ .

**Fig. 2.** Histostructure of *m. psoas minor* (*a*) and *m. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis* (*b*) in control: polygonal fiber profiles, minimum endomysium; *a* — neuromuscular spindle; (*b*) vessel in perimysium without signs of pathology. Fragments of paraffin sections, stained with hematoxylin-eosin; magnification  $\times 400$ .



**Рис. 3.** Гистоструктура малой поясничной мышцы (*a*, *b*) и крестцово-каудальной (копчиковой) дорсальной латеральной мышцы (*c*) через 6 мес эксперимента: *a*, *c* — вариабельность размеров миосимпластов, фиброз эндомизия, адипоциты в пучках мышечных волокон; *b* — артериальный сосуд с сильным фиброзом адвентициальной и средней оболочек, нарушена циркулярная ориентация гладкомышечных клеток, облитерация просвета. Фрагменты парафиновых срезов; окраска гематоксилином-эозином; увеличение  $\times 400$ .

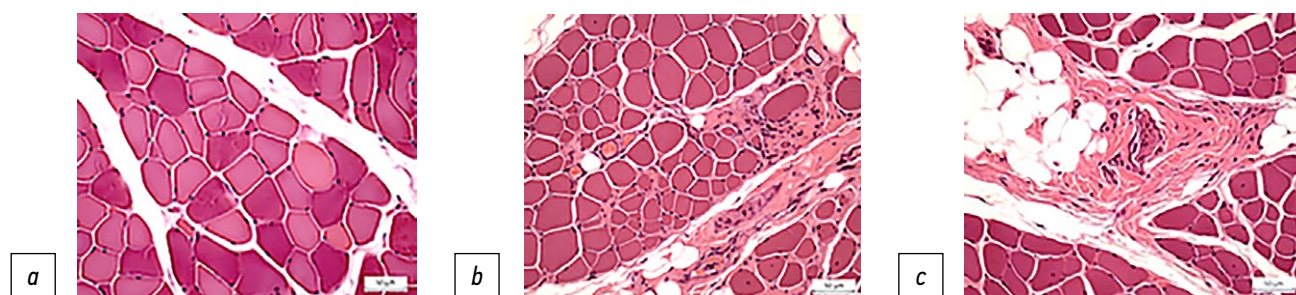
**Fig. 3.** Histostructure of the *psoas minor* (*a*, *b*) and the *sacro-caudal (coccygeal) dorsal lateral* muscle (*c*) after 6 months of the experiment: *a*, *c* — variability in the size of myosimplasts, endomysial fibrosis, adipocytes in bundles of muscle fibers; *b* — arterial vessel with severe fibrosis of the adventitial and middle membranes, impaired circular orientation of the smooth muscle cells, obliteration of the lumen. Fragments of paraffin sections; hematoxylin-eosin stain; magnification  $\times 400$ .

латеральной мышце сохранялись вышеперечисленные признаки структурной адаптации: диаметры симпластов варьировали, наблюдались внутренние ядра, в участках существенного фиброза интерстиция можно было наблюдать клетки воспалительного ряда (рис. 4, *b*). Отмечались пучки мышечных волокон, замещённых адипоцитами, перимизиальные сосуды с признаками адвентициального фиброза (рис. 4, *c*).

Через 18 мес гистоструктура исследуемых мышц отличалась существенным разнообразием полей зрения. Для *m. psoas minor* были характерны миосимпласты различных диаметров и профилей, наблюдались небольшие группы адипоцитов, замесивших волокна в мышечных пучках, фиброзированные пучки мышечных волокон с ангулярными мелкими миоцитами (рис. 5, *a*, внизу), нервно-мышечные веретёна как обычного строения, так и с увеличенными соединительнотканными капсулами (рис. 5, *b*). В *m. sacrocaudalis dorsalis lateralis* фрагменты с полигональными профилями волокон и заметным

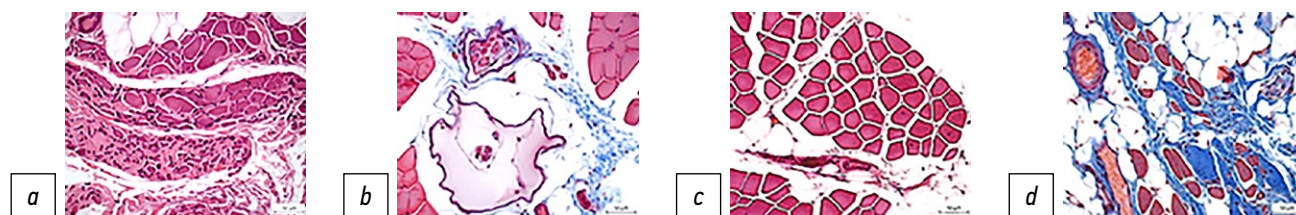
фиброзом эндомизия (рис. 5, *c*) перемежались с полями адипоцитов и с пучками волокон, где визуализировались миосимпласты в состоянии ишемии, которые при окраске по Массону приобретали синий цвет (рис. 5, *d*).

По данным стереометрии через 6 мес опыта в *m. psoas minor* и в *m. sacrocaudalis dorsalis lateralis* наблюдалось увеличение объёмной плотности эндомизия, что составило 150 и 240% ( $p < 0,05$ ) от контрольных значений соответственно (табл. 1). При этом уменьшалась доля объёма миосимпластов до 95% нормы в малой поясничной мышце и до 83% — в крестцово-каудальной, ядерный компонент составил 70% нормы в первой мышце и 76% — во второй ( $p < 0,05$ ). Объёмная плотность микрососудов в исследуемых мышцах составила соответственно 83 и 121% ( $p < 0,05$ ) нормы, индекс васкуляризации в поясничной мышце не изменялся, во второй составил 78% нормы. Жировая инфильтрация малой поясничной мышцы была 394%, крестцово-каудальной — 629% соответствующего параметра в контроле (табл. 2).



**Рис. 4.** Гистоструктура *m. psoas minor* (*a*) и *m. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis* (*b*, *c*) через 12 мес опыта: *a* — полигональные профили миосимпластов, минимум эндомизия; *b* — разнокалиберность диаметров мышечных волокон, внутренние ядра, участок существенного фиброза интерстициальной ткани (справа); *c* — пучок мышечных волокон, замещённых адипоцитами, правее — участок фиброза. Фрагменты парафиновых срезов, окраска гематоксилином-эозином, увеличение  $\times 400$ .

**Fig. 4.** Histostructure of *m. psoas minor* (*a*) and *m. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis* (*b*, *c*) after 12 months of the experiment: *a* — polygonal profiles of myosimplasts, minimum endomysium; *b* — variability in muscle fiber diameters, internal nuclei, an area of significant fibrosis of the interstitial tissue (on the right); *c* — a bundle of muscle fibers replaced by adipocytes; to the right, an area of fibrosis. Fragments of paraffin sections, stained with hematoxylin-eosin, magnification  $\times 400$ .



**Рис. 5.** Гистоструктура малой поясничной мышцы (*a*, *b*) и *m. sacrocaudalis dorsalis lateralis* (*c*, *d*) через 18 мес опыта: *a* — миоциты различных профилей и диаметров, в мышечном пучке группа адипоцитов (вверху), фрагмент фиброза с остаточными ангулярными мышечными волокнами (внизу); *b* — нервно-мышечные веретёна нормального строения и с увеличенной соединительнотканной капсулой; *c* — полигональные профили волокон, фиброз эндомизия; *d* — адипоциты, замесившие часть мышечных волокон в пучке, ишемизированные волокна окрашены в синий цвет, поля адипоцитов. Фрагменты парафиновых срезов, окраска гематоксилином-эозином по Массону (*d*); увеличение  $\times 400$ .

**Fig. 5.** Histostructure of the *psoas minor* (*a*, *b*) and *m. sacrocaudalis dorsalis lateralis* (*c*, *d*) after 18 months of the experiment: *a* — myocytes of various profiles and diameters, a group of adipocytes in the muscle bundle (top), a fragment of fibrosis with residual angular muscle fibers (bottom); *b* — neuromuscular spindles of normal structure and with an enlarged connective tissue capsular; *c* — polygonal fiber profiles, endomysial fibrosis; *d* — adipocytes that replaced part of the muscle fibers in the bundle, ischemic fibers are colored blue, fields of adipocytes. Fragments of paraffin sections, stained with hematoxylin-eosin, according to Masson (*d*); magnification  $\times 400$ .

**Таблица 1.** Данные стереологического анализа малой поясничной и крестцово-каудальной (копчиковой) дорсальной латеральной мышц собак**Table 1.** Data of stereological analysis of the *M. psoas minor* and *M. sacrocaudalis (coccygeal) dorsalis lateralis* muscles of dogs

| Параметры,<br>мм <sup>3</sup> /мм <sup>3</sup> | <i>M. psoas minor</i> |                    |                    |                   | <i>M. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis</i> |                    |                    |                   |
|------------------------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
|                                                | 6 мес                 | 12 мес             | 18 мес             | контроль          | 6 мес                                                  | 12 мес             | 18 мес             | контроль          |
| $V_{vmf}$                                      | 0,7971*<br>±0,0108    | 0,7315*<br>±0,0091 | 0,7901*<br>±0,009  | 0,8299<br>±0,0042 | 0,6975*<br>±0,0166                                     | 0,7001*<br>±0,0107 | 0,7181*<br>±0,0118 | 0,8439<br>±0,007  |
| $V_{vmv}$                                      | 0,0232*<br>±0,003     | 0,0283<br>±0,0034  | 0,0175*<br>±0,0043 | 0,0281<br>±0,0025 | 0,0272*<br>±0,0038                                     | 0,0251<br>±0,0027  | 0,0216<br>±0,0034  | 0,0225<br>±0,0028 |
| $V_{vend}$                                     | 0,1539*<br>±0,0096    | 0,2181*<br>±0,0077 | 0,1697*<br>±0,0076 | 0,1057<br>±0,0038 | 0,2428*<br>±0,0122                                     | 0,2480*<br>±0,0096 | 0,2397*<br>±0,0115 | 0,1023<br>±0,0055 |
| $V_{vn}$                                       | 0,0238*<br>±0,0029    | 0,0216*<br>±0,0027 | 0,0195*<br>±0,0046 | 0,0347<br>±0,0026 | 0,0238*<br>±0,0029                                     | 0,0216*<br>±0,0027 | 0,0195*<br>±0,0046 | 0,0312<br>±0,0032 |
| $I_{vasc}$                                     | 0,7872                | 0,9408             | 0,9043             | 0,7877            | 0,7431                                                 | 0,9714             | 1,0925             | 0,9575            |

Примечание. \*Различия достоверны для опытных групп и контроля,  $p < 0,05$ .

Note. \*Differences are significant for the experimental groups and control,  $p < 0.05$ .

**Таблица 2.** Жировая инфильтрация малой поясничной и крестцово-каудальной (копчиковой) дорсальной латеральной мышц собак**Table 2.** Fat infiltration of the *M. psoas minor* and *M. sacrocaudalis (coccygeal) dorsalis lateralis* muscles of dogs

| Срок эксперимента                                      | 6 мес | 12 мес | 18 мес | Контроль |
|--------------------------------------------------------|-------|--------|--------|----------|
| <i>M. psoas minor</i>                                  |       |        |        |          |
| Доля адипоцитов, %                                     | 28,0  | 16,1   | 24,1   | 7,1      |
| <i>M. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis</i> |       |        |        |          |
| Доля адипоцитов, %                                     | 32,7  | 17,0   | 16,1   | 5,2      |

**Таблица 3.** Динамика изменений биохимических показателей сыворотки крови на сроках эксперимента, медиана (1-й; 3-й квартиль)**Table 3.** Dynamics of changes in the biochemical parameters of blood serum during the experiment, median (1st; 3rd quartile)

| Сутки после операции | Общий белок, г/л | С-реактивный белок, мг/л | Креатинфосфокиназа, Е/л | АЛТ, Е/л     | АСТ, Е/л     |
|----------------------|------------------|--------------------------|-------------------------|--------------|--------------|
| 0                    | 68 (66; 71)      | 0                        | 100 (78; 114)           | 32 (31; 40)  | 26 (21; 26)  |
| 14                   | 64 (62; 66)*     | 2,3 (0,6; 4,0)*          | 215 (201; 234)*         | 47 (43; 56)* | 34 (31; 39)* |
| 30                   | 69 (66; 71)      | 1,9 (0,2; 5,3)*          | 88 (86; 125)            | 29 (28; 35)  | 27 (24; 32)  |
| 60                   | 65 (64; 67)      | 0                        | 92 (81; 142)            | 27 (25; 33)  | 30 (23; 37)  |
| 90                   | 66 (64; 68)      | 0                        | 94 (87; 107)            | 29 (25; 33)  | 23 (19; 27)  |
| 180                  | 67 (65; 68)      | 0                        | 97 (93; 105)            | 33 (27; 36)  | 26 (20; 38)  |
| 360                  | 65 (64; 68)      | 0                        | 99 (89; 104)            | 33 (32; 43)  | 30 (25; 37)  |
| 540                  | 70 (69; 70)      | 0                        | 94 (84; 97)             | 33 (28; 43)  | 31 (23; 38)  |

Примечание. \* Достоверные отличия с дооперационными значениями при  $p < 0,05$ .

Note. \* Significant differences with preoperative values at  $p < 0.05$ .

Через 12 мес объём эндомизия в малой поясничной мышце составил 206%, в крестцово-каудальной дорсальной латеральной — 243% значений этих параметров в контроле ( $p < 0,05$ ). Объёмная плотность мышечных волокон составила в малой поясничной и крестцово-каудальной мышцах соответственно 98 и 83%, микрососудов — 101 и 112%, ядерного компонента — 62 и 69%, индекса васкуляризации — 119 и 101% от нормы. Степень жировой инфильтрации уменьшалась относительно предыдущего периода, составив 227% в *m. psoas minor* и 327% в *m. sacrocaudalis dorsalis lateralis* значения этого параметра в контроле.

На 18-й мес эксперимента объёмная плотность миосимпластов в малой поясничной и крестцово-каудальной дорсальной латеральной мышцах составила соответственно 95 и 85% нормы ( $p < 0,05$ ); доля ядерного компонента — 56 и 62% ( $p < 0,05$ ); относительный объём микрососудов — 62 и 96% ( $p < 0,05$ ); индекс васкуляризации — 115 и 114% значений параметров в контроле. Степень склеротизации *m. psoas minor* уменьшалась относительно предыдущего периода, составив 161% контроля, и не изменялась в *m. sacrocaudalis dorsalis lateralis*, составив по-прежнему 240% контрольного значения ( $p < 0,05$ ). Показатель жировой инфильтрации в малой поясничной мышце возрастал относительно предыдущего периода до 339%, в крестцово-каудальной дорсальной латеральной — несущественно уменьшался, составив 310% от контроля (табл. 2).

По результатам биохимического исследования у животных основной группы обнаружен достоверно значимый рост концентрации С-реактивного белка в сыворотке крови с 14-х до 30-х суток после операции (табл. 3). На 14-е сутки было отмечено статистически значимое снижение уровня общего белка сыворотки на фоне повышения активности всех ферментов (для КФК рост составил более чем в 2 раза относительно исходных значений).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Оперативные вмешательства с выполнением бокового межтелового спондилодеза и заднего артродеза КПС оказывают негативное воздействие как на малую поясничную, так и на крестцово-каудальную (копчиковую) дорсальную латеральную мышцу, что проявляется как в ранний послеоперационный период (о чём свидетельствует существенный рост активности маркера повреждений скелетных мышц — КФК), так и на протяжении всего эксперимента. Об этом свидетельствует увеличение разнообразия диаметров миосимпластов, сглаживание полигональности их профилей, фиброзирование эндо- и перимизимальной соединительной ткани, склеротизация оболочек сосудов артериального звена, облитерация их просветов, массовая жировая дегенерация мышечных волокон в пучках. Активированные ядра наряду с повышенным разнообразием

диаметров мышечных волокон свидетельствуют о структурной адаптации мышечной ткани к оперативному воздействию. Через 12 мес объёмная плотность ядер уменьшалась одновременно со снижением объёмной доли миосимпластов. Снижение доли объёма ядерного компонента в отдалённый период эксперимента может быть обусловлено увеличением возраста подопытных животных, а также ограничением их подвижности ввиду содержания в ограниченном пространстве [21, 22]. Фиброз малой поясничной мышцы через 6, 12 и 18 мес опыта был выше в 1,5, в 2 и в 1,6 раза соответственно, чем в контроле, в крестцово-каудальной (копчиковой) дорсальной латеральной мышце данный параметр не изменялся во все исследованные периоды и был выше в 2,4 раза, чем в контроле. Степень жировой инволюции малой поясничной и крестцово-каудальной дорсальной латеральной мышц через 6, 12 и 18 мес опыта превышала параметры в норме соответственно в 3,9 и 6,3 раза, в 2,3 и 3,3 раза, в 3,4 и 3,1 раза. Очевидно, более выраженные изменения в ходе эксперимента претерпевает крестцово-каудальная дорсальная латеральная мышца как по степени фиброзирования, так и по уровню жировой инволюции, особенно на ранних этапах опыта.

Полученные данные по уменьшению объёмной плотности миосимпластов, склеротизации и жировой инфильтрации исследованных мышц при сочетанном оперативном воздействии находят своё отражение в клинических исследованиях. Так, установлено, что параспинальные мышцы демонстрируют различные паттерны дегенерации при заболеваниях поясничного отдела позвоночника, имеет место прямая взаимосвязь между тяжестью дегенеративных процессов в позвоночном столбе и морфологией мышц спины [23]. Уменьшение объёма паравerteбральных мышц коррелирует с кифотической деформацией при анкилозирующем спондилите [24], объём данных мышц влияет на скорость консолидации, функциональную активность и частоту осложнений после операций [16]. Жировая инволюция обоснована в качестве одного из ведущих прогностических факторов для исходов оперативных вмешательств: чем ниже степень жировой инфильтрации, тем меньше болевой синдром и процент снижения уровня функциональной активности в послеоперационном периоде [17]. Кроме того, жировая дистрофия мышц спины тесно связана с минеральной плотностью костной ткани позвоночника [25–27]. Остеопороз и дегенерация параспинальных мышц зачастую сосуществуют, что необходимо учитывать у пациентов с низкой костной массой перед оперативным воздействием [14].

В клинической практике для снижения частоты осложнений со стороны паравerteбральных мышц в послеоперационном периоде применяют комплекс физиотерапевтических методов, включающих электростимуляцию мышц спины, кальций-электрофорез, массаж, парафинолечение, лечебную физкультуру [28]. Это позволяет

улучшить двигательную функцию мышц и как результат повысить качество жизни пациентов.

В представленном нами исследовании немаловажен тот факт, что животные весь период опыта содержались в ограниченном пространстве, активные двигательные нагрузки для них были недоступны, что, безусловно, оказывало отрицательное воздействие на восстановительные процессы в мышечной ткани и повлияло в той или иной степени на полученные результаты.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведённого морфологического анализа паравerteбральных мышц при симультанном моделировании бокового межтелового спондилодеза и заднего артродеза КПС в эксперименте выявлены патогистологические изменения обеих мышц, такие как увеличение разнообразия диаметров миосимпластов, утрата полигональности их профилей, массовая жировая дегенерация волокон, фиброзирование эндо- и перимизия, склеротизация оболочек сосудов, облитерация их просветов. По окончании эксперимента степень склеротизации малой поясничной мышцы составила 161%, крестцово-каудальной дорсальной латеральной мышцы — 240% контрольных значений параметров; показатель жировой инфильтрации мышц составил соответственно 339 и 310% нормы. Очевидно, более выраженные изменения претерпевала крестцово-каудальная (копчиковая) дорсальная латеральная мышца, как по степени фиброзирования, так и по уровню жировой инволюции, особенно на ранних сроках эксперимента.

Учитывая, что пациенты при обращении к нейрохирургу уже имеют дистрофические процессы в паравerteбральных мышцах при дегенеративных заболеваниях

позвоночника [17], необходимо при хирургических вмешательствах стремиться к минимизации механического воздействия на мышцы спины, а также использовать приёмы стимуляции функции мышц в послеоперационном периоде [28]. Это, по нашему мнению, позволит снизить процессы фиброгенеза и жировой инволюции в мышцах, улучшить их функциональную активность и обеспечить в целом сокращение реабилитационного периода целевых пациентов.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

**Вклад авторов:** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

**Author contribution.** Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

**Источник финансирования.** Работа осуществлена в рамках государственного задания 2019–2022 гг. Регистрационный № темы НИР: АААА-А18-118011190118-8.

**Funding source.** Work was carried out within the framework of state assignment for 2019–2022. Registration number of the research topic: АААА-А18-118011190118-8.

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

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Patel K., Tajsic T., Budohoski K.P., et al. Simultaneous navigated cervico-thoracic and thoraco-lumbar fixation // *Eur Spine J.* 2018. Vol. 27, N 3. P. 318–322. doi: 10.1007/s00586-017-5233-1
2. Bari M.M., Islam S., Shetu N.H., Rahman M. Ортопедический контроль повреждений при политравме // *Гений ортопедии.* 2017. Т. 23, № 3. С. 351–353. doi: 10.18019/1028-4427-2017-23-3-351-353
3. Wang H.W., Hu Y.C., Wu Z.Y., et al. One approach anterior decompression and fixation with posterior unilateral pedicle screw fixation for thoracolumbar osteoporotic vertebral compression fractures // *Orthop Surg.* 2021. Vol. 13, N 3. P. 908–919. doi: 10.1111/os.12947
4. Бывальцев В.А., Калинин А.А., Рябых С.О. и др. Симультаные хирургические вмешательства в спинальной нейрохирургии: систематический обзор // *Гений ортопедии.* 2020. Т. 26, № 2. С. 275–281. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-2-275-281
5. Li Y., Du Y., Ji A., et al. The Clinical Effect of Manual Reduction Combined with Internal Fixation Through Wiltse Paraspinal Approach in the Treatment of Thoracolumbar Fracture // *Orthop Surg.* 2021. Vol. 13, N 8. P. 2206–2215. doi: 10.1111/os.13090
6. Moulin B., Tselikas L., Gravel G., et al. Safety and Efficacy of Multilevel Thoracolumbar Vertebroplasty in the Simultaneous Treatment of Six or More Pathologic Compression Fractures // *J Vasc Interv Radiol.* 2020. Vol. 31, N 10. P. 1683–1689.e1. doi: 10.1016/j.jvir.2020.03.011
7. Климов В.С., Василенко И.И., Евсюков А.В., и др. Применение технологии LLIF у пациентов с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника: анализ ретроспективной когорты и обзор литературы // *Гений ортопедии.* Т. 24, № 3. С. 393–403. doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-3-393-403
8. Lorio M., Kube R., Araghi A. International Society for the Advancement of Spine Surgery Policy 2020 Update-Minimally Invasive Surgical Sacroiliac Joint Fusion (for Chronic Sacroiliac Joint Pain): Coverage Indications, Limitations, and Medical Necessity // *Int J Spine Surg.* 2020. Vol. 14, N 6. P. 860–895. doi: 10.14444/7156

9. Ladd B., Polly Jr D. Pelvic Fixation Using S2AI and Triangular Titanium Implants (Bedrock Technique) // *World Neurosurg.* 2021. Vol. 154. P. 2. doi: 10.1016/j.wneu.2021.07.027
10. Panico M., Chande R.D., Lindsey D.P., et al. Innovative sacropelvic fixation using iliac screws and triangular titanium implants // *Eur Spine J.* 2021. Vol. 30, N 12. P. 3763–3770. doi: 10.1007/s00586-021-07006-9
11. Rainov N.G., Schneiderhan R., Heidecke V. Triangular titanium implants for sacroiliac joint fusion // *Eur Spine J.* 2019. Vol. 28, N 4, P. 727–734. doi: 10.1007/s00586-018-5860-1
12. Dale M., Evans J., Carter K., et al. iFuse Implant System for Treating Chronic Sacroiliac Joint Pain: A NICE Medical Technology Guidance. *Appl Health Econ Health Policy* // 2020. Vol. 18, N 3. P. 363–373. doi: 10.1007/s40258-019-00539-7
13. Novák V., Wanek T., Hrabálek L., Stejskal P. [Minimally Invasive Sacroiliac Joint Stabilization] // *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2021. Vol. 88, N 1. P. 35–38.
14. Han G., Zou D., Liu Z., et al. Paraspinal muscle characteristics on MRI in degenerative lumbar spine with normal bone density, osteopenia and osteoporosis: a case-control study // *BMC Musculoskelet Disord.* 2022. Vol. 23, N 1. P. 73. doi: 10.1186/s12891-022-05036-y
15. He K., Head J., Mouchtouris N., et al. The Implications of Paraspinal Muscle Atrophy in Low Back Pain, Thoracolumbar Pathology, and Clinical Outcomes After Spine Surgery: A Review of the Literature // *Global Spine J.* 2020. Vol. 10, N 5. P. 657–666. doi: 10.1177/2192568219879087
16. Khan A.B., Weiss E.H., Khan A.W., et al. Back Muscle Morphometry: Effects on Outcomes of Spine Surgery // *World Neurosurg.* 2017. Vol. 103. P. 174–179. doi: 10.1016/j.wneu.2017.03.097
17. Jermy J.E., Copley P.C., Poon M.T.C., Demetriades A.K. Does pre-operative multifidus morphology on MRI predict clinical outcomes in adults following surgical treatment for degenerative lumbar spine disease? A systematic review // *Eur Spine J.* 2020 Vol. 29, N 6. P. 1318–1327. doi: 10.1007/s00586-020-06423-6
18. Stevens S., Agten A., Timmermans A., Vandenabeele F. Unilateral changes of the multifidus in persons with lumbar disc herniation: a systematic review and meta-analysis. *Spine J.* 2020. Vol. 20, N 10. P. 1573–1585. doi: 10.1016/j.spinee.2020.04.007
19. Филимонова Г.Н., Дюрягина О.В., Антонов Н.И., Рябых С.О. Характеристика малой поясничной мышцы при моделировании бокового межтелового спондилодеза поясничного отдела позвоночника // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* 2022. Т. 29, № 1. С. 47–56. doi: 10.17816/vto90775
20. Гайдышев И.П. Моделирование стохастических и детерминированных систем: Руководство пользователя программы AtteStat. Купран, 2015. 484 с. Режим доступа: [http://xn--80aab2abao2a1acibc.xn--p1ai/files/AtteStat\\_Manual\\_15.pdf](http://xn--80aab2abao2a1acibc.xn--p1ai/files/AtteStat_Manual_15.pdf). Дата обращения: 14.03.2023.
21. Chen W., Datzkiw D., Rudnicki M.A. Satellite cells in ageing: use it or lose it. *Open Biol* // 2020. Vol. 10, N 5. P. 200048. doi: 10.1098/rsob.200048
22. Giza S., Mojica-Santiago J.A., Parafati M., et al. Microphysiological system for studying contractile differences in young, active, and old, sedentary adult derived skeletal muscle cells // *Aging Cell.* 2022. Vol. 21, N 7. P. e13650. doi: 10.1111/ace1.13650
23. Ding J.Z., Kong C., Li X.Y., et al. Different degeneration patterns of paraspinal muscles in degenerative lumbar diseases: a MRI analysis of 154 patients // *Eur Spine J.* 2022. Vol. 31, N 3. P. 764–773. doi: 10.1007/s00586-021-07053-2
24. Bok D.H., Kim J., Kim T.H. Comparison of MRI-defined back muscles volume between patients with ankylosing spondylitis and control patients with chronic back pain: age and spinopelvic alignment matched study // *Eur Spine J.* 2017. Vol. 26, N 2. P. 528–537. doi: 10.1007/s00586-016-4889-2
25. Yang Q., Yan D., Wang L., et al. Muscle fat infiltration but not muscle cross-sectional area is independently associated with bone mineral density at the lumbar spine // *Br J Radiol.* 2022. Vol. 95, N 1134. P. 20210371. doi: 10.1259/bjr.20210371
26. Li X., Xie Y., Lu R. et al. Relationship between osteoporosis with fatty infiltration of paraspinal muscles based on QCT examination // *J Bone Miner Metab.* 2022. Vol. 40, N 3. P. 518–527. doi: 10.1007/s00774-022-01311-z
27. Zhao Y., Huang M., Serrano-Sosa M., et al. Fatty infiltration of paraspinal muscles is associated with bone mineral density of the lumbar spine // *Arch Osteoporos.* 2019. Vol. 14, N 1. P. 99. doi: 10.1007/s11657-019-0639-5
28. Койчубеков А.А. Комплексный подход к восстановительному лечению больных с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника после переднего спондилодеза // *Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета.* 2018. Т. 18, № 2. С. 59–63.

## REFERENCES

1. Patel K, Tajsic T, Budohoski KP, et al. Simultaneous navigated cervico-thoracic and thoraco-lumbar fixation. *Eur Spine J.* 2018;27(3):318–322. doi: 10.1007/s00586-017-5233-1
2. Bari MM, Islam S, Shetu NH, Rahman M. Orthopedic control of injuries in polytrauma. *Genij Ortopedii.* 2017;23(3):351–353. doi: 10.18019/1028-4427-2017-23-3-351-35
3. Wang HW, Hu YC, Wu ZY, et al. One approach anterior decompression and fixation with posterior unilateral pedicle screw fixation for thoracolumbar osteoporotic vertebral compression fractures. *Orthop Surg.* 2021;13(3):908–919. doi: 10.1111/os.12947
4. Byvaltsev VA, Kalinin AA, Ryabykh SO, et al. Simultaneous surgical interventions in spinal neurosurgery: a systematic review. *Genij Ortopedii.* 2020;26(2):275–281. (In Russ). doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-2-275-281
5. Li Y, Du Y, Ji A, et al. The Clinical Effect of Manual Reduction Combined with Internal Fixation Through Wiltse Paraspinal Approach in the Treatment of Thoracolumbar Fracture. *Orthop Surg.* 2021;13(8):2206–2215. doi: 10.1111/os.13090
6. Moulin B, Tselikas L, Gravel G, et al. Safety and Efficacy of Multilevel Thoracolumbar Vertebroplasty in the Simultaneous Treatment of Six or More Pathologic Compression Fractures. *J Vasc Interv Radiol.* 2020;31(10):1683–1689.e1. doi: 10.1016/j.jvir.2020.03.011
7. Klimov VS, Vasilenko II, Evsyukov AV, et al. The use of LLIF technology in adult patients with degenerative

scoliosis: retrospective cohort analysis and literature review. *Genij Ortopedii*. 2018;24(3):393–403. (In Russ). doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-3-393-403

8. Lorio M, Kube R, Araghi A. International Society for the Advancement of Spine Surgery Policy 2020 Update-Minimally Invasive Surgical Sacroiliac Joint Fusion (for Chronic Sacroiliac Joint Pain): Coverage Indications, Limitations, and Medical Necessity. *Int J Spine Surg*. 2020;14(6):860–895. doi: 10.14444/7156

9. Ladd B, Polly Jr D. Pelvic Fixation Using S2AI and Triangular Titanium Implants (Bedrock Technique). *World Neurosurg*. 2021;154:2. doi: 10.1016/j.wneu.2021.07.027

10. Panico M, Chande RD, Lindsey DP et al. Innovative sacropelvic fixation using iliac screws and triangular titanium implants. *Eur Spine J*. 2021;30(12):3763–3770. doi: 10.1007/s00586-021-07006-9

11. Rainov NG, Schneiderhan R, Heidecke V. Triangular titanium implants for sacroiliac joint fusion. *Eur Spine J*. 2019;28(4):727–734. doi: 10.1007/s00586-018-5860-1

12. Dale M, Evans J, Carter K, et al. iFuse Implant System for Treating Chronic Sacroiliac Joint Pain: A NICE Medical Technology Guidance. *Appl Health Econ Health Policy*. 2020;18(3):363–373. doi: 10.1007/s40258-019-00539-7

13. Novák V, Wanek T, Hrabálek L, Stejskal P. [Minimally Invasive Sacroiliac Joint Stabilization]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2021;88(1):35–38.

14. Han G, Zou D, Liu Z, et al. Paraspinal muscle characteristics on MRI in degenerative lumbar spine with normal bone density, osteopenia and osteoporosis: a case-control study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022;23(1):73. doi: 10.1186/s12891-022-05036-y

15. He K, Head J, Mouchtouris N, et al. The Implications of Paraspinal Muscle Atrophy in Low Back Pain, Thoracolumbar Pathology, and Clinical Outcomes After Spine Surgery: A Review of the Literature. *Global Spine J*. 2020;10(5):657–666. doi: 10.1177/2192568219879087

16. Khan AB, Weiss EH, Khan AW, et al. Back Muscle Morphometry: Effects on Outcomes of Spine Surgery. *World Neurosurg*. 2017;103:174–179. doi: 10.1016/j.wneu.2017.03.097

17. Jermy JE, Copley PC, Poon MTC, Demetriades AK. Does pre-operative multifidus morphology on MRI predict clinical outcomes in adults following surgical treatment for degenerative lumbar spine disease? A systematic review. *Eur Spine J*. 2020;29(6):1318–1327. doi: 10.1007/s00586-020-06423-6

18. Stevens S, Agten A, Timmermans A, Vandenabeele F. Unilateral changes of the multifidus in persons with lumbar disc herniation:

a systematic review and meta-analysis. *Spine J*. 2020;20(10):1573–1585. doi: 10.1016/j.spinee.2020.04.007

19. Filimonova GN, Dyuryagina OV, Antonov NI, Ryabykh SO. Characteristics of the psoas minor in modeling lateral interbody fusion of the lumbar spine. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2022;29(1):47–56. (In Russ). doi: 10.17816/vto90775

20. Gajdyshev IP. Modelirovanie stohasticheskikh i determinirovannykh sistem: Rukovodstvo pol'zovatelya programmy AtteStat. Kurgan, 2015. 484 p. Available from: [http://xn--80aab2abao2a1acibc.xn--p1ai/files/AtteStat\\_Manual\\_15.pdf](http://xn--80aab2abao2a1acibc.xn--p1ai/files/AtteStat_Manual_15.pdf). Accessed: 14.03.2023. (In Russ).

21. Chen W, Datzkiw D, Rudnicki MA. Satellite cells in ageing: use it or lose it. *Open Biol*. 2020;10(5):200048. doi: 10.1098/rsob.200048

22. Giza S, Mojica-Santiago JA, Parafati M, et al. Microphysiological system for studying contractile differences in young, active, and old, sedentary adult derived skeletal muscle cells. *Aging Cell*. 2022;21(7):e13650. doi: 10.1111/accel.13650

23. Ding JZ, Kong C, Li XY, et al. Different degeneration patterns of paraspinal muscles in degenerative lumbar diseases: a MRI analysis of 154 patients. *Eur Spine J*. 2022;31(3):764–773. doi: 10.1007/s00586-021-07053-2

24. Bok DH, Kim J, Kim TH. Comparison of MRI-defined back muscles volume between patients with ankylosing spondylitis and control patients with chronic back pain: age and spinopelvic alignment matched study. *Eur Spine J*. 2017;26(2):528–537. doi: 10.1007/s00586-016-4889-2

25. Yang Q, Yan D, Wang L, et al. Muscle fat infiltration but not muscle cross-sectional area is independently associated with bone mineral density at the lumbar spine. *Br J Radiol*. 2022;95(1134):20210371. doi: 10.1259/bjr.20210371

26. Li X, Xie Y, Lu R, et al. Relationship between osteoporosis with fatty infiltration of paraspinal muscles based on QCT examination. *J Bone Miner Metab*. 2022;40(3):518–527. doi: 10.1007/s00774-022-01311-z

27. Zhao Y, Huang M, Serrano-Sosa M, et al. Fatty infiltration of paraspinal muscles is associated with bone mineral density of the lumbar spine. *Arch Osteoporos*. 2019;14(1):99. doi: 10.1007/s11657-019-0639-5

28. Koichubekov AA. The integrated approach to restorative treatment of patients with degenerative diseases of the lumbar spine after anterior spondylodesis. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo Slavânskogo Universiteta*. 2018;18(2):59–63. (In Russ).

## ОБ АВТОРАХ

**\*Филимонова Галина Николаевна**, к.б.н.,

старший научный сотрудник;

адрес: Россия, 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, д. 6;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0683-9758>;

eLibrary SPIN: 5873-2280;

e-mail: galnik.kurgan@yandex.ru

**Дюрягина Ольга Владимировна**, к.в.н.,

заведующая экспериментальной лабораторией;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9974-2204>;

eLibrary SPIN: 8301-1475;

e-mail: diuriagina@mail.ru

## AUTHORS INFO

**\*Galina N. Filimonova**, Cand. Sci. (Biol.),

Senior Research Associate;

address: 6 M. Ulyanova str., 640014 Kurgan, Russia;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0683-9758>;

eLibrary SPIN: 5873-2280;

e-mail: galnik.kurgan@yandex.ru

**Olga V. Diuriagina**, Cand. Sci. (Vet.),

Head of the Experimental Laboratory;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9974-2204>;

eLibrary SPIN: 8301-1475;

e-mail: diuriagina@mail.ru

**Антонов Николай Иванович**, к.б.н.,

научный сотрудник;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8627-2749>;

eLibrary SPIN: 3754-7508;

e-mail: aniv-niko@mail.ru

**Стогов Максим Валерьевич**, д.б.н., доцент,

руководитель отдела доклинических и лабораторных исследований;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8516-8571>;

eLibrary SPIN: 9345-8300;

e-mail: Stogo\_off@list.ru

**Рябых Сергей Олегович**, д.м.н.,

заместитель директора по проектам, образованию и коммуникации;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8293-0521>;

eLibrary SPIN: 6382-1107;

e-mail: RyabykhSO@cito-priorov.ru

**Тушина Наталья Владимировна**, к.б.н.,

научный сотрудник;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1322-608X>;

eLibrary SPIN: 7554-9130;

e-mail: ntushina76@mail.ru

**Nikolai I. Antonov**, Cand. Sci. (Biol.),

Research Associate;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8627-2749>;

eLibrary SPIN: 3754-7508;

e-mail: aniv-niko@mail.ru

**Maksim V. Stogov**, Dr. Sci. (Biol.), Assistant Professor,

Head of the Department of Preclinical and Laboratory Research;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8516-8571>;

eLibrary SPIN: 9345-8300;

e-mail: Stogo\_off@list.ru

**Sergei O. Ryabykh**, MD, Dr. Sci. (Med.),

Deputy Director for Projects, Education and Communication;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8293-0521>;

eLibrary SPIN: 6382-1107;

e-mail: RyabykhSO@cito-priorov.ru

**Natalia V. Tushina**, Cand. Sci. (Biol.),

Research Associate;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1322-608X>;

eLibrary SPIN: 7554-9130;

e-mail: ntushina76@mail.ru

---

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author