

ОСОБЕННОСТИ ГИСТОСТРУКТУРЫ КРЕСТЦОВО-КАУДАЛЬНОЙ (КОПЧИКОВОЙ) ДОРСАЛЬНОЙ ЛАТЕРАЛЬНОЙ МЫШЦЫ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЗАДНЕГО АРТРОДЕЗА КРЕСТЦОВО-ПОДВЗДОШНОГО СУСТАВА

Г.Н. Филимонова*, О.В. Дюрягина, Н.И. Антонов

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии
им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России
640014, Российская Федерация, Курган, ул. М. Ульяновой, 6

Паравerteбральные мышцы играют не последнюю роль в развитии деформаций и дегенеративных заболеваний позвоночника. В эксперименте на животных исследовали влияние техники заднего артродеза илиосакрального сочленения (крестцово-подвздошного сустава, КПС) на морфологические характеристики крестцово-каудальной (копчиковой) дорсальной латеральной мышцы. Использовали титановые кейджи с последующей стабилизацией аппаратом внешней фиксации в течение 30 сут. Преимуществами заднего артродеза являются небольшой разрез, минимальная кровопотеря, сохранение целостности большинства связок, короткий период иммобилизации. Тем не менее, при экспериментальном моделировании на животных артродеза КПС в прилежащей мышце выявлены фиброзирование интерстициального пространства и жировая инфильтрация, составившие от интактных параметров 240% и 310% соответственно, по окончании эксперимента, фиброз оболочек сосудов артериального звена. Необходимо нивелировать травматизацию мышц при оперативных вмешательствах на позвоночнике с целью минимизировать процессы фиброгенеза и жировой инволюции паравerteбральных мышц.

Ключевые слова: артродез крестцово-подвздошного сочленения, эксперимент, крестцово-каудальная (копчиковая) дорсальная латеральная мышца, морфология

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания «Разработка и оценка эффективности применения пациентоориентированных имплантов в хирургии осевого скелета» (рег. № АААА-А18-11801190118-8).

Для цитирования: Филимонова Г.Н., Дюрягина О.В., Антонов Н.И. Особенности гистоструктуры крестцово-каудальной (копчиковой) дорсальной латеральной мышцы при моделировании заднего артродеза крестцово-подвздошного сустава. *Биомедицина*. 2022;18(4):102–111. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-18-4-102-111>

Поступила 01.04.2022

Принята после доработки 18.11.2022

Опубликована 10.12.2022

HYSTOSTRUCTURE FEATURES OF THE SACRA-CAUDAL (COCCYGEAL) DORSAL LATERAL MUSCLE WHEN MODELING POSTERIOR ARTHRODESIS OF THE ILEOSACRAL JOINT

Galina N. Filimonova*, Olga V. Diuriagina, Nikolai I. Antonov

National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics
of the Ministry of Health Care of Russia
640014, Russian Federation, Kurgan, M. Ulianovoj Str., 6

Paravertebral muscles play an important role in the development of deformities and degenerative diseases of the spine. The impact of posterior arthrodesis of the ileosacral articulation (sacrum-iliac joint) on the morphological characteristics of the *m. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis* of mongrel dogs was studied in animal experiments. Titanium cages were used, followed by stabilization with an external fixation device for 30 days. The advantages of posterior arthrodesis include a small incision, minimal blood loss, preservation of the integrity of most ligaments, and a short immobilization period. Nevertheless, when modeling arthrodesis experimentally in animals, fibrosis of the interstitial space and fatty infiltration in the adjacent muscle were revealed at the end of the experiment, which amounted to 240% and 310% of the intact parameters, respectively. In addition, fibrosis of the vessel membranes of the arterial link was observed. When performing surgical interventions on the spine, traumatization of the muscles should be reduced in order to minimize fibrogenesis and fatty involution of the paravertebral muscles.

Keywords: posterior arthrodesis of the ileosacral articulation, experiment, sacra-caudal (coccygeal) dorsal lateral muscle, morphology

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Funding: the work was carried out within the framework of the State assignment “Development and evaluation of the effectiveness of the use of patient-oriented implants in axial skeleton surgery” (reg. No. AA-AA-A18-118011190118-8).

For citation: Filimonova G.N., Diuriagina O.V., Antonov N.I. Hystostructure Features of the Sacra-Caudal (Coccygeal) Dorsal Lateral Muscle when Modeling Posterior Arthrodesis of the Ileosacral Joint. *Journal Biomed.* 2022;18(4):102–111. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-18-4-102-111>

Submitted 01.04.2022

Revised 18.11.2022

Published 10.12.2022

Введение

Боль в пояснице широко распространена у людей как в развитых, так и в развивающихся странах и является основной причиной многолетней инвалидности [9]. Частой причиной болей в нижнем отделе позвоночника является патология крестцово-подвздошного сустава (КПС, илиосакральное сочленение). У 70% пациентов дегенеративно-дистрофические заболевания позвоночника связаны с патологией данного сустава, от 15 до 30% из них страдают хронической болью [11, 16]. КПС — это парный тугоподвижный сустав, выполняющий опорную функцию,

образованный ушковидными поверхностями крестца и подвздошной кости. КПС входит в состав «крестцово-подвздошного комплекса», который включает собственно сустав, поддерживающие связки, части некоторых региональных мышц и нервы, иннервирующие эти структуры, и каждый из этих элементов может стать источником боли [16].

Для лечения патологии илиосакрального сочленения используют как консервативные методы, так и хирургические, в частности, артродез, при котором сустав закрепляется в фиксированном положении. Впервые замыкание сустава осуществил венский

хирург Е. Albert в 1878 г. Хирургическая фиксация может осуществляться с помощью бокового, заднего и заднебокового доступов [11].

Установлена безопасность и эффективность техники артродеза КПС с титановыми имплантатами для лечения дегенеративного сакроилеита, разрыва сустава [19]. Анатомически задний доступ выполняется чрескожно и позволяет избежать повреждения сосудисто-нервных структур, которые встречаются при трансподвздошном доступе [22]. Всё чаще для артродеза КПС применяются треугольные титановые имплантаты, что приводит к немедленному, стойкому снижению боли и улучшению качества жизни [18].

В связи с появлением малоинвазивных хирургических методов произошёл прорыв в производстве новых устройств, используемых для артродезирования КПС [13, 17]. Особенно хорошо зарекомендовало себя применение минимально инвазивного артродеза с использованием iFuse Implant System [10, 20]. Проанализированы ключевые моменты формирования межтелового блока после декомпрессивно-стабилизирующих операций на пояснично-крестцовом отделе позвоночника [1]. При оперативном лечении посттравматической деформации таза применяют транспедикулярную спинальную систему и блок-решётку [5]. В литературе по биомеханике обсуждаются вопросы, требующие дальнейшего изучения, особенно в отношении устройств, используемых в минимально инвазивной хирургии КПС [14]. Биомеханические исследования решили некоторые из таких вопросов, как конструкция и оптимальное число имплантатов, их расположение с учётом различной плотности костной ткани в КПС, одностороннее или двустороннее их размещение.

Итак, оперативный доступ, способ стабилизации, выбор имплантатов при артродезе крестцово-подвздошного сочленения яв-

ляются предметом обсуждений. При этом мало внимания уделено состоянию близлежащих к КПС мышц, которые играют не последнюю роль в развитии деформаций и дегенеративных заболеваний позвоночника [7, 12].

Цель работы — исследовать влияние техники заднего артродеза крестцово-подвздошного сустава на гистоструктурные особенности крестцово-каудальной (копчиковой) дорсальной латеральной мышцы.

Материалы и методы

Эксперименты проведены на 14-ти беспородных собаках обоего пола в возрасте 2–3 лет массой 13 ± 4 кг; для контроля исследованы интактные особи ($n=3$). Подопытным животным выполняли задний артродез правого крестцово-подвздошного сустава с использованием титановых кейджей с последующей стабилизацией аппаратом внешней фиксации в течение 30 сут. Эвтаназию осуществляли через 6 ($n=5$), 12 ($n=6$) и 18 мес. ($n=3$). Исследовали *m. sacrocaudalis dorsalis lateralis* справа от позвоночника.

Работа была одобрена этическим комитетом ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России. Животные содержались в стандартных условиях вивария, в вольерах размером $1,5 \times 1,5$ м. Манипуляции проводились в соответствии с требованиями межгосударственных стандартов и санитарно-эпидемиологических требований Российской Федерации [3, 4, 6]. Премедикацию осуществляли р-рами 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). Эвтаназию выполняли после премедикации р-ром димедрола 1% (0,02 мг/кг) и рометара 2% (1 мг/кг) с последующим введением летальной дозы барбитуратов.

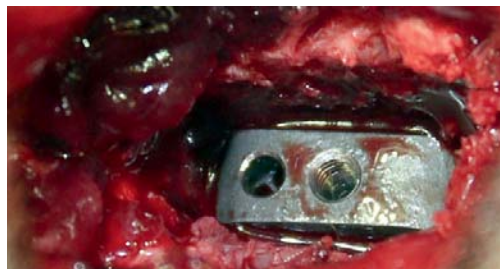
Модель эксперимента. Собаку укладывали на живот, на уровне L_{VII} и S_{I-II} паравертебрально выполняли линейный разрез кожи, подкожной клетчатки и ягодичной фасции длиной 5 см. Для доступа к крестцово-подвздошному сочленению крестцово-хвостовую дорсальную латеральную мышцу смещали медиально на 1,5–2 см и удерживали зубчатым крючком Фолькмана в течение времени, необходимого для установки кейджа (25–30 мин). Затем удаляли прямоугольный лоскут дорсальной связки до губчатого слоя крыла подвздошной кости и крестца. Далее долотом формировали ложе, соответствующее размеру имплантата, путём выборки суставных поверхностей КПС с захватом прилегающей губчатой костной ткани крыла подвздошной кости и крестца. Имплантат вводили с помощью рукоятки-проводника посредством вколачивания, кровопотеря была минимальной. Неврологических осложнений и гематом в послеоперационный период не наблюдали. После установки имплантата рану послойно ушивали узловыми швами Викрилом 4/0. КПС стабилизировали аппаратом внешней фиксации в течение 30 сут (рис. 1А, Б).

После эвтаназии животных фрагменты мышцы иссекали в проекции внедрения кейджа и фиксировали в смеси равных

объёмов 2%-ного глутарового и 2%-ного параформальдегида, заливали в парафин, срезы окрашивали гематоксилином-эозином, по Ван-Гизону, трихромным методом по Массону. Изучали с помощью стереомикроскопа «AxioScope.A1» и встроенной цифровой фотокамеры «AxioCam» («Carl Zeiss MicroImaging GmbH», Германия). Посредством стереологического анализа определяли: объёмную плотность ($\text{мм}^3/\text{мм}^3$) мышечных волокон (VV_{mf}), микрососудов (VV_{mv}), эндомизия (VV_{end}), ядерного компонента мышечной ткани (VV_n); численную плотность (мм^{-2}) миосимпластов и микрососудов (NA_{mf} ; NA_{mv}). Рассчитывали параметр, оценивающий васкуляризацию мышцы и, косвенно, её оксигенацию, NA_{mv}/NA_{mf} — индекс васкуляризации, видовая константа. Достоверность отличий оценивали на основании непараметрического критерия Вилкоксона для независимых выборок, различия считали значимыми при $p < 0,05$, обработку цифровых данных проводили в программе AtteStat версия 10.8.8, встроенной в Microsoft Excel [2].

Результаты исследований

В контрольной группе гистоструктура крестцово-каудальной (копчиковой) дорсальной латеральной мышцы характеризовалась полигональными единообразными



А



Б

Рис. 1. Установка титанового кейджа между крестцом и крыльями подвздошных костей поясничных позвонков собаки: А — отведение *m. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis*; Б — положение кейджей в крестцово-подвздошных суставах в прямой проекции на рентгенограмме.

Fig. 1. Mounting a titanium cage between the sacrum and the iliac wings of canine lumbar vertebrae: А – abduction of *m. sacrocaudalis dorsalis lateralis*; Б – position of the cages in the sacroiliac joints in X-ray direct projection.

профилями мышечных волокон, минимум эндомизия, сосуды в перимизии без фиброза оболочек (рис. 2А, Б). Встречались мышечные волокна с признаками обратимых контрактур, нервно-мышечные веретена и внутримышечные нервные проводники имели нормальное строение (рис. 2В).

Через 6 мес. в *m. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis* наблюдались признаки структурной реорганизации: повышалась вариабельность диаметров миосимпластов, фиброз эндо- и перимизия, адипоциты в пучках мышечных волокон, обширные поля жировой дегенерации (рис. 3А).

Некоторые перимизимальные сосуды имели признаки адвентициального фиброза, были спазмированы, погружены в обширные конгломераты адипоцитов (рис. 3Б, В).

Через 12 мес. эксперимента гистоструктура крестцово-каудальной (копчиковой) дорсальной латеральной мышцы сохраняла перечисленные выше признаки структурной адаптации. Были характерны внутренние ядра в волокнах (рис. 4А), увеличенный перимизий заполнялся множественными жировыми клетками (рис. 4Б). Наблюдались гипертрофированные миосимпласты, погруженные в соединительнотканые разра-

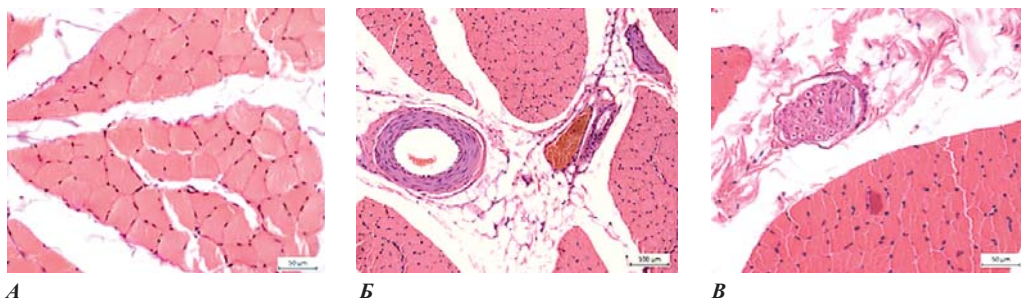


Рис. 2. Гистоструктура *m. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis* в контроле: А — полигональные профили волокон, минимум эндомизия; Б — перимизимальные сосуды с нормоструктурой; В — нервный ствол без патологии. Фрагменты парафиновых срезов, окраска гематоксилином-эозином, увеличение: $\times 400$ (А, В), $\times 200$ (Б).
Fig. 2. Histostructure of *m. sacrocaudalis dorsalis lateralis* in the control: А — polygonal fiber profiles, minimum endomysium; Б — perimysial vessels with normostructure; В — nerve trunk without pathology. Fragments of paraffin sections, stained with hematoxylin-eosin, magnification: $\times 400$ (А, В), $\times 200$ (Б).

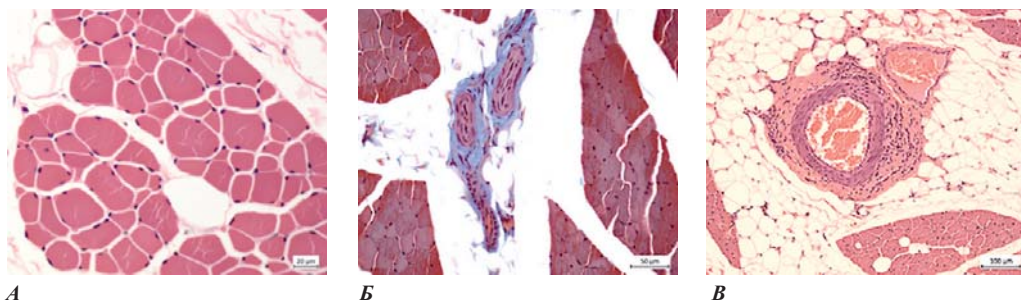


Рис. 3. Гистоструктура *m. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis* через 6 мес. опыта: А — вариабельность размеров миосимпластов, фиброз эндомизия; Б — спазмированные сосуды; В — адвентициальный фиброз в сосуде артериального звена, обширное поле адипоцитов. Фрагменты парафиновых срезов, окраска гематоксилином-эозином, по Массону (Б), увеличение: $\times 630$ (А); $\times 400$ (Б); $\times 200$ (В).

Fig. 3. Histostructure of *m. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis* after 6 months of the experience: А — variability in the size of myosimplasts, endomysial fibrosis; Б — spasmodic vessels; В — adventitial fibrosis in the vessel of the arterial component, an extensive field of adipocytes. Fragments of paraffin sections, stained with hematoxylin-eosin, according to Masson (Б), magnification: $\times 630$ (А); $\times 400$ (Б); $\times 200$ (В).

стания с признаками воспаления, где также могли наблюдаться одиночные адипоциты или их группы (рис. 4В).

Через 18 мес. гистологическая картина исследуемой мышцы отличалась значительным фиброзом интерстициального пространства. Сохранялось повышенное разнообразие диаметров и профилей мио-симпластов, размеры мышечных волокон в различных полях зрения варьировали (рис. 5А, Б). Встречались перимизиальные сосуды с облитерированными просветами,

преобладали открытые сосуды, без фиброза оболочек (рис. 5В).

По данным стереометрии, через 6 и 12 мес. эксперимента объёмная плотность мышечных волокон в *m. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis* была достоверно ниже параметра в контроле, составив 83% ($p < 0,05$), а к 18 мес. — 85% (табл. 1). При этом объёмная плотность микрососудов составляла 121%, 112% и 96% от нормы на 6, 12 и 18 мес. соответственно. Объём эндомизимальной соединительной ткани сохранял-

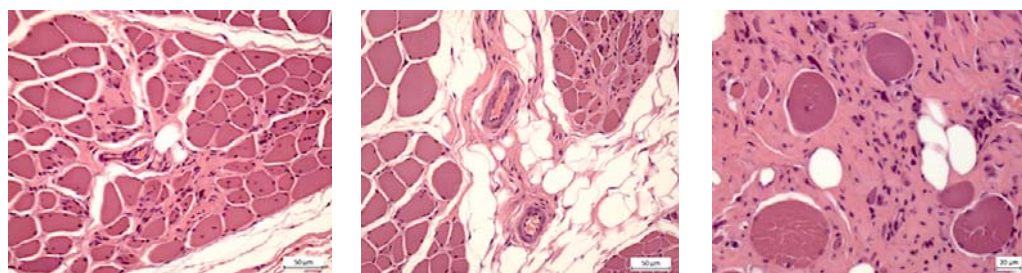


Рис. 4. Гистоструктура *m. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis* через 12 мес.: А — разнообразие диаметров и профилей мышечных волокон, внутренние ядра; Б — адвентициальный фиброз перимизиальных сосудов, адипоциты в перимизии; В — соединительнотканый конгломерат с признаками воспаления, единичные гипертрофированные мышечные волокна, адипоциты. Фрагменты парафиновых срезов, окраска гематоксилином-эозином, увеличение: $\times 400$ (А, Б); $\times 630$ (В).

Fig. 4. Histostructure of *m. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis* after 12 months: А — a variety of diameters and profiles of muscle fibers, internal nuclei; Б — adventitial fibrosis of the perimysial vessels, adipocytes in the perimysium; В — connective tissue conglomerate with signs of inflammation, single hypertrophied muscle fibers, adipocytes. Fragments of paraffin sections, stained with hematoxylin-eosin, magnification: $\times 400$ (А, Б); $\times 630$ (В).



Рис. 5. Гистоструктура *m. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis* на 18 мес. эксперимента: А — различные размеры и профили мышечных волокон; Б — существенный фиброз эндомизия; В — сосуды артериального звена, мелкий с закрытым просветом, для крупного характерно нормостроение. Фрагменты парафиновых срезов, окраска гематоксилином-эозином, увеличение: $\times 400$.

Fig. 5. Histostructure of *m. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis* by the 18th month of the experiment: А — different sizes and profiles of muscle fibers; Б — significant fibrosis of the endomysium; В — vessels of the arterial component, small ones with a closed lumen, the large one is characterized by normal structure. Fragments of paraffin sections, stained with hematoxylin-eosin, magnification: $\times 400$.

ся на одном уровне в ходе эксперимента, превысив контрольный параметр в 2,4 раза ($p<0,05$). Доля ядерного компонента уменьшалась через 6, 12 и 18 мес., составив 76%, 69% и 62% соответственно, от параметра в норме ($p<0,05$). Индекс васкуляризации мышечной ткани был ниже контрольного параметра на 6 мес. и возрастал к 12 и 18 мес., составив, соответственно, 78%, 101% и 114% ($p<0,05$) от контрольного параметра. Степень жировой инфильтрации исследованной мышцы через 6 мес. была максимальной, составив 629% от нормы. Через 12 и 18 мес. данный параметр уменьшался до 327% и 310% соответственно (табл. 2).

Обсуждение результатов

В ходе эксперимента было установлено, что для мышцы характерен фиброз интерстициального пространства, превышающий в 2,4 раза параметр в контроле, и существенная жировая инволюция, превосходящая более чем в 3 раза параметр в норме по окончании опыта. Объёмная плотность ядерного компонента в мышечной ткани уменьшалась в ходе опыта в соответствии со снижением объёмной доли миосимпласов. Через 18 мес. относительный объём

ядер был меньше почти в 2 раза контрольного параметра на фоне несущественного восстановления объёмной плотности мышечных волокон. Заметное уменьшение объёмной плотности ядерного компонента в отдалённый период эксперимента может быть обусловлено увеличением возраста подопытных животных [23], а также их гиподинамией ввиду содержания в клетках. Степень жировой инволюции была максимальной на 6 мес. после операции, что, очевидно, вызвано сильной травматизацией *m. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis* при оперативном вмешательстве — компрессией и растяжением мышцы. В последующие периоды мышца частично восстанавливалась, индекс жировой инфильтрации уменьшался в 2 раза, но превышал интактный показатель в 3,4 раза.

Полученные данные по уменьшению объёмной плотности миосимпласов, склеротизации и жировой инфильтрации мышцы при экспериментальном оперативном воздействии могут найти своё отражение в клинических исследованиях. Так, уменьшение площади поперечного сечения параспинальной мускулатуры и увеличение инфильтрации жира связывают с болью в пояснице [12]. Уменьшение объёма пара-

Таблица 1. Данные стереологического анализа крестцово-каудальной (копчиковой) дорсальной латеральной мышцы

Table 1. Stereological analysis of *m. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis*

Параметры (мм ³ / мм ³)	6 мес.	12 мес.	18 мес.	Контроль
VV _{mf}	0,6975±0,0166	0,7001±0,0107	0,7181±0,0118	0,8439±0,007
VV _{mv}	0,0272±0,0038	0,0251±0,0027	0,0216±0,0034	0,0225±0,0028
VV _{end}	0,2428±0,0122	0,248±0,0096	0,2397±0,0115	0,1023±0,0055
VV _n	0,0238±0,0029	0,0216±0,0027	0,0195±0,0046	0,0312±0,0032
I _{vasc}	0,7431	0,9714	1,0925	0,9575

Примечание: жирным выделены значения, достоверно отличающиеся от параметров в контроле, $p<0,05$.

Note: values in bold are significantly different from those in the control, $p<0,05$.

Таблица 2. Жировая инфильтрация (%) в крестцово-каудальной (копчиковой) дорсальной латеральной мышце

Table 2. Fatty infiltration (%) in *m. sacrocaudalis (coccygeus) dorsalis lateralis*

Параметр	Период			
	6 мес.	12 мес.	18 мес.	Контроль
Доля (%) адипоцитов	32,7	17,0	16,1	5,2

спинальных мышц коррелирует с кифотической деформацией [8], объём мышц влияет на скорость сращения, функциональную активность и частоту осложнений после операций [15]. Выявлена повышенная экспрессия фиброгенных генов в многораздельных мышцах при патологии позвоночника, это обуславливает необходимость мер по предотвращению фиброгенеза [21]. Жировая инволюция является одним из главных факторов, который берётся во внимание перед хирургическим вмешательством [24]. Необходимо учесть, что в данном исследовании экспериментальные животные содержались в ограниченном пространстве, активные двигательные нагрузки не проводились, что, безусловно, имело значение для восстановления мышечной ткани.

Заключение

Преимуществами использованной техники заднего артродеза илиосакрального сочленения являются небольшой разрез,

минимальная кровопотеря, сохранение целостности большинства связок и короткий период иммобилизации.

Тем не менее при экспериментальном моделировании на животных артродеза крестцово-подвздошного сустава в прилежащей крестцово-каудальной (копчиковой) дорсальной латеральной мышце выявлены фиброзирование интерстициального пространства и жировая инволюция, составившие от интактных параметров 240 и 310% соответственно, в конце эксперимента, а также фиброз оболочек сосудов.

Следовательно, при использовании техники заднего артродеза крестцово-подвздошного сустава (КПС, илиосакральное сочленение) минимизация механического воздействия на мышцы призвана нивелировать процессы фиброгенеза и жировой инволюции паравертебральных мышц, сократив период восстановления мышечной ткани в послеоперационном периоде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Байков Е.С., Вернер Н.Ю. Ключевые моменты формирования межтелового блока после декомпрессио-стабилизирующих вмешательств на пояснично-крестцовом отделе позвоночника: обзор литературы. *Гений ортопедии*. 2020;26(3):426–431. [Baykov E.S., Verner N.Yu. Klyuchevye momenty formirovaniya mezhtelovogo bloka posle dekompressivno-stabiliziruyushchih vmeshatel'stv na poynichno-krestcovom otdele pozvonochnika: obzor literatury [Key points of interbody fusion following surgical decompression and stabilization of the lumbosacral spine: Literature review]. *Geniy Ortopedii [Orthopedic Genius]*. 2020;26(3):426–431. (In Russian)]. DOI: 10.18019/1028-4427-2020-26-3-426-431.
2. Гайдышев И.П. *Моделирование стохастических и детерминированных систем: Руководство пользователя программы AtteStat*. Курган, 2015:484. [Gajdyshch I.P. *Modelirovaniye stokhasticheskikh i determinirovannykh sistem: Rukovodstvo pol'zovatelya programmy AtteStat* [Modeling of stochastic and deterministic systems: User's Guide for the AtteStat program]. Kurgan, 2015:484. (In Russian)].
3. ГОСТ 33215-2014 от 22.12.2014 № 73-П. *Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур* [GOST 33215-2014 of 22.12.2014 No. 73-P. *Rukovodstvo po sodержaniyu i ukhodu za laboratornymi zhivotnymi. Pravila oborudovaniya pomeshcheniy i organizatsii protsedur* [Guidelines for the maintenance and care of laboratory animals. Rules for equipping premises and organizing procedures]. (In Russian)].
4. ГОСТ Р 33044-2014 от 20.10.2014 № 71-П. *Принципы надлежащей лабораторной практики* [GOST R 33044-2014 of 20.10.2014 No. 71-P. *Printsipy nadlezhashchey laboratornoy praktiki* [Principles of Good Laboratory Practice]. (In Russian)].
5. Жалмагамбетов К.Л., Рябых С.О., Жданов А.С., Губин А.В. Применение транспедикулярной спинальной системы и блок-решётки при оперативном лечении посттравматической деформации таза: случай из практики и краткий анализ литературы. *Гений ортопедии*. 2021;27(1):97–103. [Zhalmagambetov K.L., Ryabykh S.O., Zhdanov A.S., Gubin A.V. *Primeneniye transpedikulyarnoy spinal'noy sistemy i blok-reshetki pri operativnom lechenii post-travmaticheskoy deformatsii taza: sluchay iz praktiki i kratkiy analiz literatury* [The use of the transpedic-

- ular spinal system and titanium mesh cage in surgical treatment of post-traumatic pelvic deformity: A case study and a brief literature review]. *Geniy Ortopedii [Orthopedic Genius]*. 2021;27(1):97–103. (In Russian)]. DOI: 10.18019/1028-4427-2021-27-1-97-103.
6. СП 2.2.1.3218-14 от 31.10.2014 № 34547 «Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, оборудованию и содержанию экспериментально-биологических клиник (вивариев)» [SP 2.2.1.3218-14 of 31.10.2014 No. 34547 “Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k ustroystvu, oborudovaniyu i soderzhaniyu eksperimental’no-biologicheskikh klinik (vivariyev)” [“Sanitary and epidemiological requirements for the arrangement, equipment and maintenance of experimental biological clinics (vivariums)”]. (In Russian)].
7. Щурова Е.Н., Филимонова Г.Н., Рябых С.О. Влияние величины деформации в грудном отделе позвоночника на морфологическую картину параспинальных мышц у больных с идиопатическим сколиозом тяжёлой степени. *Гений ортопедии*. 2021;27(1):68–73. [Shchurova E.N., Filimonova G.N., Ryabykh S.O. Vliyaniye velichiny deformatsii v grudnom otdel pozvonochnika na morfologicheskuyu kartinu paraspinal’nykh myshts u bol’nykh s idiopatcheskim skoliozom tyazheloy stepeni [Influence of the magnitude of deformity in the thoracic spine on the morphological picture of the paraspinal muscles in patients with severe idiopathic scoliosis]. *Geniy Ortopedii [Orthopedic Genius]*. 2021;27(1):68–73. (In Russian)]. DOI: 10.18019/1028-4427-2021-27-1-68-73.
8. 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;26(2):528–537. DOI: 10.1007/s00586-016-4889-2.
9. Chen L.Y., Liang H.D., Qin Q.N., Tian T.Z., Liu B.X., Shi M., Cai Y.F. Sacroiliac joint fusion VS conservative management for chronic low back pain attributed to the sacroiliac joint: A protocol for systematic review and meta analysis. *Medicine (Baltimore)*. 2020;99(46):e23223. DOI: 10.1097/MD.00000000000023223.
10. Duhon B.S., Cher D.J., Wine K.D., Kovalsky D.A., Lockstadt H. SIFI Study Group. Triangular titanium implants for minimally invasive sacroiliac joint fusion: A prospective study. *Global Spine J.* 2016;6(3):257–269. DOI: 10.1055/s-0035-1562912.
11. Falowski S., Sayed D., Pope J., Patterson D., Fishman M., Gupta M., Mehta P. A review and algorithm in the diagnosis and treatment of sacroiliac joint pain. *J. Pain Res.* 2020;13:3337–3348. DOI: 10.2147/JPR.S279390.
12. He K., Head J., Mouchtouris N., Hines K., Shea P., Schmidt R., Hoelscher C., Stricsek G., Harrop J., Sharan A. 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.
13. Himstead A.S., Brown N.J., Shahrestani S., Tran K., Davies J.L., Oh M. Trends in diagnosis and treatment of sacroiliac joint pathology over the past 10 years: Review of scientific evidence for new devices for sacroiliac joint fusion. *Cureus*. 2021;13(6):e15415. DOI: 10.7759/cureus.15415.
14. Joukar A., Kiapour A., Elgafy H., Erbulut D.U., Agarwal A.K., Goel V.K. Biomechanics of the sacroiliac joint: Surgical treatments. *Int. J. Spine Surg.* 2020;14(3):355–367. DOI: 10.14444/7047.
15. Khan A.B., Weiss E.H., Khan A.W., Omeis I., Verla T. Back muscle morphometry: Effects on outcomes of spine surgery. *World Neurosurg.* 2017;103:174–179. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.03.097.
16. King W., Ahmed S.U., Baisden J., Patel N., Kennedy D.J., Duszynski B., MacVicar J. Diagnosis and treatment of posterior sacroiliac complex pain: A systematic review with comprehensive analysis of the published data. *Pain Med.* 2015;16(2):257–265. DOI: 10.1111/pme.12630.
17. 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.
18. Patel V., Kovalsky D., Meyer S.C., Chowdhary A., LaCombe J., Lockstadt H., Techy F., Langel C., Limoni R., Yuan P., Kranenburg A., Cher D., Tender G. Prospective trial of sacroiliac joint fusion using 3D-printed triangular titanium implants: 24-month follow-up. *Med. Devices (Auckl)*. 2021;14:211–216. DOI: 10.2147/MDER.S314828.
19. Rudolf L. Sacroiliac joint arthrodesis-MIS technique with titanium implants: Report of the first 50 patients and outcomes. *Open Orthop. J.* 2012;6:495–502. DOI: 10.2174/1874325001206010495.
20. Rudolf L., Capobianco R. Five-year clinical and radiographic outcomes after minimally invasive sacroiliac joint fusion using triangular implants. *Open Orthop. J.* 2014;8:375–383. DOI: 10.2174/1874325001408010375.
21. Shahidi B., Fisch K.M., Gibbons M.C., Ward S.R. Increased fibrogenic gene expression in multifidus muscles of patients with chronic versus acute lumbar spine pathology. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2020;45(4):E189–E195. DOI: 10.1097/BRS.0000000000003243.
22. Shamrock A.G., Patel A., Alam M., Shamrock K.H., Al Maaieh M. The safety profile of percutaneous minimally invasive sacroiliac joint fusion. *Global Spine J.* 2019;9(8):874–880. DOI: 10.1177/2192568218816981.
23. Sousa-Victor P., Gutarra S., Garcia-Prat L., Rodriguez-Ubreva J., Ortet L., Ruiz-Bonilla V., Jar-

di M., Ballestar E., González S., Serrano A.L., Perdiguer E., Muñoz-Cánoves P. Geriatric muscle stem cells switch reversible quiescence into senescence. *Nature*. 2014;506(7488):316–321. DOI: 10.1038/nature13013.

24. Storheim K., Berg L., Hellum C., Gjertsen Ø., Neckelmann G., Espeland A., Keller A., Norwegian

Spine Study Group. Fat in the lumbar multifidus muscles — predictive value and change following disc prosthesis surgery and multidisciplinary rehabilitation in patients with chronic low back pain and degenerative disc: 2-year follow-up of a randomized trial. *BMC Musculoskelet. Disord.* 2017;18(1):145. DOI: 10.1186/s12891-017-1505-5.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Филимонова Галина Николаевна*, к.б.н., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России;
e-mail: galnik.kurgan@yandex.ru

Дюрягина Ольга Владимировна, к.вет.н., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России;
e-mail: diuriagina@mail.ru

Антонов Николай Иванович, к.б.н., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России;
e-mail: aniv-niko@mail.ru

Galina N. Filimonova*, Cand. Sci. (Biol.), National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics of the Ministry of Health Care of Russia;
e-mail: galnik.kurgan@yandex.ru

Olga V. Diuriagina, Cand. Sci. (Vet.), National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics of the Ministry of Health Care of Russia;
e-mail: diuriagina@mail.ru

Nikolai I. Antonov, Cand. Sci. (Biol.), National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics of the Ministry of Health Care of Russia;
e-mail: aniv-niko@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author