КОСТЕОБРАЗОВАНИЕ И ГИСТОСТРУКТУРА МЫШЦ БЕДРА ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПЕРЕЛОМА БЕДРЕННОЙ КОСТИ СО СРОЧНЫМ ЛИБО ОТСРОЧЕННЫМ ОСТЕОСИНТЕЗОМ БЛОКИРУЮЩИМ ИНТРАМЕДУЛЛЯРНЫМ АНТЕГРАДНЫМ СТЕРЖНЕМ

Г.Н. Филимонова*, Н.И. Антонов, А.А. Еманов

ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия»
им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России
640014, Российская Федерация, Курган, ул. Марии Ульяновой, д. 6

Блокируемый интрамедуллярный остеосинтез является самым распространённым методом при лечении переломов диафиза бедренной кости. Цель работы — выявить особенности гистоструктуры мышц бедра собак при заживлении переломов бедренной кости в условиях остеосинтеза посредством блокирующего интрамедуллярного армирования антеградным металлическим стержнем. Переломы диафиза бедренной кости моделировали у 9-ти беспородных собак и фиксировали интрамедуллярным стержнем: в I группе ($n=4$) остеосинтез начинали непосредственно после повреждения кости, во II группе — через 4 дня после перелома ($n=5$) — отсроченный остеосинтез. Исследовали четырёхглавую и двуглавую мышцы бедра. В I группе животных сращение костных отломков наступало к 42-му дню, в группе II — через 70 дней. Единая костномозговая полость и кортикальный слой в группе I формировались к 70-му дню, в группе II — лишь на 100-й день эксперимента. Гистоструктура *m. quadriceps femoris* в группе I в ходе эксперимента изменялась незначительно, *m. biceps femoris* претерпевала процессы структурной реорганизации на 42-е и 70-е сутки опыта. В группе с отсроченным остеосинтезом изменения наблюдались в обеих мышцах: повышенное разнообразие диаметров волокон, увеличение числа ядер в миоцитах, фибрирование интерстициального пространства и перимизимальных сосудов артериального звена, в *m. biceps femoris* изменения более выражены. Через 3 месяца после операции гистоструктура двух исследованных мышц даже при отсроченном остеосинтезе не имеет существенных различий и стремится к интактной норме. При переломах бедра необходима как можно более ранняя фиксация костных отломков блокирующим антеградным интрамедуллярным стержнем, т. к. костное сращение и формирование полноценной костной ткани происходит на месяц раньше, чем при отсроченном остеосинтезе. Мышцы бедра передней группы травмируются в меньшей степени, чем мышцы задней группы.

Ключевые слова: бедренная кость, перелом, мышцы бедра, блокирующий интрамедуллярный остеосинтез

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Филимонова Г.Н., Антонов Н.И., Еманов А.А. Костеобразование и гистоструктура мышц бедра при моделировании перелома бедренной кости со срочным либо отсроченным остеосинтезом блокирующим интрамедуллярным антеградным стержнем. *Биомедицина*. 2020;16(2):78–88. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-16-2-78-88>

Поступила 28.02.2020

Принята после доработки 22.04.2020

Опубликована 10.06.2020

OSTEOGENESIS AND HISTOSTRUCTURE OF FEMORAL MUSCLES WHEN MODELING A FEMORAL FRACTURE WITH IMMEDIATE OR DELAYED OSTEOSYNTHESIS USING AN INTERLOCKING INTRAMEDULLARY ANTEGRADE ROD

Galina N. Filimonova*, Nikolay I. Antonov, Andrey A. Emanov

Russian Scientific Center "Reconstructive Traumatology and Orthopedics"
Named after Academician G.A. Ilizarov of the Ministry of Health Care of Russia
640014, Russian Federation, Kurgan, Marii Ulyanovoy str., 6

Interlocked intramedullary osteosynthesis is the most common method for treating femoral shaft fractures. The aim — to reveal specific characteristics of the histostucture of canine femoral muscles when healing femoral fractures under osteosynthesis using interlocking intramedullary reinforcement with an antegrade metal rod. Femoral shaft fractures were modelled in 9 mongrel dogs. The fractures were fixed with an intramedullary rod. In Group I ($n=4$), osteosynthesis was started immediately after bone injury. In Group II ($n=5$), osteosynthesis was started 4 days after fracture (delayed osteosynthesis). *M. biceps femoris* and *M. quadriceps femoris* were studied. In Group I and Group II, bone healing occurred following 42 and 70 days, respectively. A unified bone marrow cavity and cortical layer had been formed by day 70 and day 100 in Group I and Group II, respectively. The histostucture of *M. quadriceps femoris* in Group I remained largely unchanged throughout the experiment, while *M. biceps femoris* underwent the process of structural reorganization on days 42 and 70 of the experiment. The Group of delayed osteosynthesis demonstrated changes in the histostucture of both muscles, including an increased diversity of fibre diameters, an increased number of nuclei in myocytes, fibrosis of the interstitial space and perimysial arterial vessels. These changes were more pronounced in *M. biceps femoris*. Three months after injury, the histostucture of the muscles under study, even in the Group of delayed osteosynthesis, had no significant differences and tended to the intact norm. In femoral fractures, the earliest possible fixation of bone fragments with an interlocking antegrade intramedullary rod is recommended. A complete bone healing in such cases occurs a month earlier than in those with delayed osteosynthesis. The femoral muscles of the anterior group are injured to a lesser extent than those of the posterior group.

Keywords: femur, fracture, femoral muscles, interlocking intramedullary osteosynthesis

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

For citation: Filimonova G.N., Antonov N.I., Emanov A.A. Osteogenesis and Histostructure of Femoral Muscles When Modeling a Femoral Fracture with Immediate or Delayed Osteosynthesis Using an Interlocking Intramedullary Antegrade Rod. *Journal Biomed.* 2020;16(2):78–88. <https://doi.org/10.33647/2074-5982-16-2-78-88>

Submitted 28.02.2020

Revised 22.04.2020

Published 10.06.2020

Введение

Диафизарные переломы бедренной кости являются часто встречаемой разновидностью переломов нижней конечности и занимают второе место среди всех переломов длинных трубчатых костей, составляя 10,4–23,9% [9]. По данным Сергеева С.В. и соавт. [11], на долю этих переломов при-

ходится около 2,5% повреждений скелета и около 20% от переломов бедренной кости, а по данным [8], диафизарные переломы составляли около 40% всех переломов бедра, возникающих в результате прямой и непрямой травмы. В лечении этой патологии особое место принадлежит методу интрамедуллярного остеосинтеза антеград-

ным блокирующим стержнем, в частности, Ситником А.А. в 2007 году была представлена техника выполнения и проанализированы результаты и перспективы лечения данным методом [12]. Дергачев В.В. и соавт. в 2011 году представляют интрамедуллярный блокирующий остеосинтез как современную методику лечения переломов трубчатых костей, анализируют новые проблемы и осложнения [4]. Большой вклад в решение данного вопроса внес Барабаш А.П., в частности, предложен интрамедуллярный стержень нового типа для остеосинтеза переломов бедра [6]. В 2016 году осуществлено доклиническое исследование надежности интрамедуллярных стержней для остеосинтеза у пациентов с оскольчатыми переломами диафиза бедренной кости [3]. Современный и перспективный метод интрамедуллярного остеосинтеза блокируемыми стержнями применяется как при сращении диафизарных переломов, так и при удлинении бедренной кости [1, 2, 7, 17, 20, 21].

Местные факторы (смещение отломков, нарушение внутрикостного кровообращения и повреждения окружающих тканей) являются частой причиной замедленного течения консолидации вообще и нижних конечностей в частности. Установлено, что ранний остеосинтез методом блокируемого интрамедуллярного армирования антеградным стержнем значительно снижает частоту осложнений у пациентов с переломами бедра при политравме [10]. При лечении переломов костей конечности необходимо брать во внимание и мягкие ткани, которые играют решающую роль в выборе тактики лечения [13]. Морфофункциональные характеристики передней и задней групп мышц бедра в разных условиях заживления перелома бедренной кости при блокируемом интрамедуллярном остеосинтезе в доступной литературе не выявлены, что послужило предметом данного исследования.

Цель работы — сравнительный гистоструктурный анализ мышц бедра в условиях срочного и отсроченного остеосинтеза бедренной кости методом блокируемого антеградного интрамедуллярного армирования.

Материалы и методы

Исследование проведено на 9-ти беспородных собаках обоих полов в возрасте от 1 до 1,5 лет, массой тела $16 \pm 1,1$ кг, длиной бедренной кости $18 \pm 0,8$ см, содержащихся в стандартных условиях вивария. До начала исследования было получено одобрение локального этического комитета. Все манипуляции на животных, их содержание и выведение из опыта проводили согласно Приказу Минздрава России от 01.04.2016 г. № 199н «Об утверждении Правил надлежащей лабораторной практики». Животным моделировали поперечный перелом диафиза бедренной кости и производили интрамедуллярный блокируемый остеосинтез. Для фиксации отломков бедренной кости сразу после остеотомии в I группе ($n=4$) и через четверо суток во II группе ($n=5$) после скелетного вытяжения использовали блокирующие интрамедуллярные стержни (I-Loc система, BioMedtrix, США) (рис. 2А, В).

Рентгенографию выполняли до операции, после моделирования перелома, а также на 14, 28, 35, 42, 56, 70, 85 и 100-е сут после остеосинтеза. Морфологические исследования были выполнены в I группе через 35–42 ($n=2$) и 70 ($n=2$) сут фиксации бедра; во II группе — через 70 ($n=3$) и 100 ($n=2$) сут. Для гистологических исследований иссекали фрагменты четырехглавой мышцы бедра (*m. quadriceps femoris*) и двуглавой мышцы бедра (*m. biceps femoris*) с опытной и контралатеральной конечностей, фиксировали в смеси равных объемов 2% глутарового и 2% параформальдегида на фосфатном буфере (рН 7,4), постфиксировали в 1% р-ре тетраоксида осмия

с дальнейшей дегидратацией, пропитывали в эпоксидных смолах, полимеризовали. Изготавливали полутонкие срезы, используя ультратом Nova (LKB, Швеция), окрашивали по М. Ontell. Часть материала подвергали стандартной гистологической проводке с заливкой в парафин, изготавливали срезы, используя Gistorange microtome LKB Bromma-2218 (Швеция), окрашивали гематоксилином-эозином и по Ван Гизону. Препараты исследовали посредством микроскопа AxioScore A1 в комплекте с цифровой камерой AxioCam ICc 5 и программным обеспечением Zen blue (Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Germany).

Результаты исследования

На рентгенограммах, выполненных перед выполнением остеосинтеза в обеих группах, наблюдали смещение отломков (рис. 1). Во II группе смещение отломков бедренной кости по длине было значительней, чем в I группе. Также на рентгенограммах определяли увеличение плотности тени мышц бедра во II группе (рис. 1B).

У собак I группы опорная функция оперированной конечности восстанавливалась в период от 3-х до 7-ми сут, во II группе — к 10–14-м сут после остеосинтеза. Диапазон движений в смежных суставах у собак I группы был в пределах нормы, в группе II составлял 100–110 градусов в течение 2–3-х недель после операции. Рентгенография на всех сроках исследований выявляла динамику восстановления в обеих группах, но в группе II после отсроченного остеосинтеза регенерация была несколько замедленная. Рентгенографически к 70-м сут эксперимента в I группе выявлены признаки формирования однородных кортикальных слоёв, по плотности и диаметру приближавшихся к материнской кости (рис. 2A). В группе II к этому сроку линия перелома ещё была чётко видна, хотя на отломках

компактизировались периостальные наслоения, определяли формирование единых кортикальных слоёв, что свидетельствовало о консолидации перелома. Плотность кортикального слоя даже на 100-е сут фиксации была неоднородной и прослеживалась нивелированная линия перелома (рис. 2B).

При интрамедуллярном блокирующем остеосинтезе значительной разницы показателей функции тазовых конечностей между животными обеих групп не наблюдали. Восстановление опорной и двигательной функций оперированной тазовой конечности определяли в сроки от 3-х до 14-ти сут. Тонус задней группы мышц бедра опытной конечности у собак обеих групп в течение 2-х недель был сниженным, визуально признаков атрофии мышц тазовой конечности у животных не наблюдали. Двигательная

Рис. 1. Моделирование поперечного перелома бедренной кости: А — состояние костных отломков и мышц перед срочной репозицией; В — состояние костных отломков и мышц при отсроченной репозиции.

Fig. 1. Modelling of a femoral transverse fracture: A — the condition of bone fragments and muscles under immediate reposition; B — the condition of bone fragments and muscles under delayed reposition.

Рис. 2. Результаты блокируемого интрамедуллярного остеосинтеза: А — на 70-е сут при срочной репозиции; В — на 100-е сут в группе отсроченного остеосинтеза.

Fig. 2. Results of interlocked intramedullary osteosynthesis: A — day 70 under immediate reposition; B — day 100 in the Group of delayed osteosynthesis.

и опорная функции были хорошо выражены в обеих группах через 3 недели фиксации.

Четырёхглавая мышца бедра является мощным разгибателем голени в коленном суставе, мышца передней группы бедра — это наиболее крупная и сильная мышца тела. Двуглавая мышца — мышца бедра задней группы. В результате гистологического исследования мышечной ткани латеральной головки четырёхглавой мышцы бедра и двуглавой мышцы бедра при срочной и отсроченной репозиции костных отломков бедренной кости были выявлены различия как между двумя мышцами, так и между одноименными мышцами в двух сравниваемых группах.

На 35–42-е сут опыта в группе со срочным остеосинтезом *m. quadriceps femoris* отличалась единообразием диаметров мышечных волокон, большинство которых имели полигональные профили, что ха-

рактерно для интактных мышц (рис. 3А). В то же время в некоторых полях зрения отмечали стертость полигональности профилей и незначительным увеличением объёма эндомизимальных прослоек (рис. 3В). В перимизии сосуды артериального типа характеризовались нормальной толщиной своих оболочек, гладкомышечные клетки (ГМК) *t. media* циркулярно ориентированы (рис. 3С). Гистологическая картина *m. biceps femoris* носила признаки структурной адаптации мышечной ткани к создавшимся экспериментальным условиям как повышенное разнообразие диаметров и профилей мышечных волокон от ангулярных мелких до гипертрофированных округлых, число ядер в волокнах и интерстиции было заметно больше по сравнению с *m. quadriceps* (рис. 3D). Также наблюдались контрактурно измененные волокна и «спиральные» (рис. 3Е), в перимизии сосуды артериального звена имели признаки фиброза адвентициальной оболочки (рис. 3F).

На 70-й день фиксации гистоструктура *m. quadriceps femoris* в двух опытных группах существенно различалась. В I группе наблюдались единообразные полигональные профили волокон, немногочисленные инактивированные ядра, легкий фиброз эндо- и перимизия (рис. 4А), повышенное количество внутримышечных ядер было отмечено в 14% миоцитов (рис. 4В). Артерии перимизия имели открытые просветы, оболочки без признаков фиброзирования (рис. 4С). В группе с отсроченной репозицией костных фрагментов отмечались разнообразные поля зрения: в одних профили и диаметры волокон были единообразны (рис. 4D), в других наблюдалась очень высокая вариативность диаметров волокон, увеличение количества перицитов и ядер мышечных волокон (рис. 4Е). Были характерны волокна с центрально расположенными ядрами, очень мелкие миоциты с ангулярными профилями. В перимизии крупные сосудистые пучки имели признаки адвентициального фиброза,

Рис. 3. Гистоструктура *m. quadriceps femoris* (верхняя строка) и *m. biceps femoris* (внизу) на 35–42-й день фиксации в I группе: А — единообразные профили волокон, ув. $\times 500$; В — утрата полигональности отдельными волокнами, ув. $\times 200$; С — сосуды артериального звена без признаков фиброза, ув. $\times 79$; D — вариабельность диаметров мышечных волокон, многочисленные микрососуды, ув. $\times 500$; E — контрактура мышечного волокна, ув. $\times 200$; F — адвентициальный фиброз сосудов в перимизии, ув. $\times 200$. Окраска: парафиновых срезов (B, C, F) гематоксилином-эозином, полутонких (A, D, E) — по M. Ontell.

Fig. 3. Histostructure of *M. quadriceps femoris* (top line) and *M. biceps femoris* (below) on the day 35–42 of fixation in Group I: A — uniform profiles of fibers, magn. $\times 500$; B — polygonality loss by single fibers, magn. $\times 200$; C — arterial vessels without signs of fibrosis, magn. $\times 79$; D — variability of muscle fiber diameters, multiple microvessels, magn. $\times 500$; E — muscle fiber contracture, magn. $\times 200$; F — adventitial fibrosis of perimysium vessels, magn. $\times 200$. Paraffin sections (B, C, F) are stained with hematoxylin-eosin; half thin sections (A, D, E) are stained according to M. Ontell.

сосуды артериального русла отличались разрывлением средней оболочки и некоторой дезориентацией ГМК (рис. 4F).

Морфологическая картина *m. biceps femoris* на 70-е сут фиксации в I группе отличалась высокой вариативностью диаметров мышечных волокон, полигональность их профилей фактически отсутствовала (рис. 5A). В интерстициальных пространствах отмечались инактивированные фибробласты (рис. 5B), некоторые сосуды имели облитерированные просветы и сильный фиброз средней оболочки (рис. 5C). При отсроченном остеосинтезе наблюдались более единообразные профили миоцитов по сравнению с I группой, но при этом диаметры волокон были существенно увеличены, вероятно, ввиду

гипертрофии, а также отмечалось множество активированных ядер как в волокнах, так и в интерстициальном пространстве (рис. 5D). В прослойках эндомизия отмечались лаброциты как признак воспаления (рис. 5E), также наблюдались ядра с признаками апоптоза (рис. 5F).

Через 100 дней фиксации для обеих исследованных мышц бедра была присуща картина, близкая к интактной норме, как полигональные профили волокон, минимальные эндомизимальные прослойки, встречались волокна, замещённые адипоцитами, в *m. biceps femoris* адипоциты визуализировались чаще. В перимизии сосуды артериального звена имели, как правило, открытые просветы, оболочки без признаков фиброза.

Рис. 4. Гистоструктура *m. quadriceps femoris* на 70-й день фиксации в I группе (верхняя строка) и во II группе (внизу): А — единообразные профили волокон; В — из семи волокон одно с признаками активизации; С — артерия в перимизии нормального строения, ГМК циркулярно ориентированы; D — инактивированный фрагмент; E — активация миоцитарного и паравасального компонентов в некоторых пучках мышцы; F — сосудистый пучок перимизия с признаками адвентициального фиброза, дезориентация ГМК в *t. media*. Фрагменты парафиновых срезов, окраска гематоксилином-эозином, ув. $\times 200$.

Fig. 4. Histostructure of *M. quadriceps femoris* on day 70 in Group I (top line) and in Group II (below): A — uniform profiles of fibers; B — out of 7 fibers, 1 has activation signs; C — perimysial artery of normal structure, SMC are circularly oriented; D — inactivated fragment; E — activation of myocytic and paravascular components in some muscle bundles; F — perimysial vascular bundle with adventitial fibrosis signs, disorientation of smooth muscle cells in *t. media*. Fragments of paraffin sections, hematoxylin-eosin staining, magn. $\times 200$.

Обсуждение результатов

Проанализирована функция четырёхглавой мышцы после перелома бедренной кости у пациентов младше 17-ти лет [19]. При тестировании с изокINETическим динамометром Субех-II пациенты имели постоянный дефицит силы четырёхглавой мышцы сломанной конечности. Величина максимального смещения перелома была единственным фактором, который был значимым для прогнозирования слабости мышцы. Субклинический дефицит силы мышцы связывают с повреждением костными отломками и не рекомендуют переход от традиционных методов лечения, которые включают в себя использование вытяжения [19]. В исследовании по удли-

нению бедра сравнивали диапазон движений в колене и мышечную силу четырёхглавой мышцы и подколенного сухожилия [15]. Большинство переменных не влияло на диапазон движений в колене или силу мышцы, также более высокий возраст не был ограничивающим фактором для удлинения бедра. Пациенты с врожденными аномалиями были наиболее проблематичны с точки зрения сгибания колена. Показано положительное влияние анаболических стероидов, витамина D и кальция на мышечную массу, минеральную плотность кости и клиническую функцию после перелома бедра [18].

Предложен алгоритм лечения переломов бедренной кости у детей, показано преи-

Рис. 5. Гистоструктура *m. biceps femoris* к 70-му дню фиксации в I группе (верхняя строка) и в группе II (нижняя строка): А — признаки структурной реорганизации, ув. $\times 79$; В — инактивированный фибробласт в эндомизии; С — облитерация просвета и фиброз средней оболочки сосуда в перимизии; D — гипертрофированные миоциты, ув. $\times 200$; E — тучная клетка в эндомизии; F — ядра с признаками апоптоза. Окраска: парафиновых срезов (A, D) гематоксилином-эозином, полутонких срезов (D, C, E, F) — по М. Ontell, ув. $\times 1250$.

Fig. 5. Histostucture of *M. biceps femoris* on day 70 in Group I (top line) and in Group II (below): A — signs of structural reorganization, magn. $\times 79$; B — an inactivated fibroblast in endomysium; C — lumen obliteration and fibrosis of the middle layer of the vessel in perimysium; D — hypertrophied myocytes, magn. $\times 200$; E — a mast cell in endomysium; F — nuclei with apoptosis signs. Paraffin sections (A, D) are stained with hematoxylin-eosin; half thin sections (D, C, E, F) are stained according to M. Ontell, magn. $\times 1250$.

мущество внешней фиксации [22] и значительное преимущество внутрикостного титанового стержня по сравнению с тракционной и тазобедренной гипсовой повязкой [24]. У пациентов, подверженных блокирующему интрамедуллярному остеосинтезу бедренной кости, использовали ультразвуковое исследование высокого разрешения в реальном времени для оценки четырёхглавой мышцы бедра и измерения ее атрофии [16]. Установлено, что атрофия мышц приводит к изменению мышечной структуры, поражается вся мышечная ткань четырёхглавой мышцы, что согласуется с данными нашего исследования. К 35–42-му дню фиксации в группе со срочным остеосинтезом бедренной кости четырёх-

главая мышца изменялась, но имела более сохранную гистоструктуру, в мышце бедра задней группы наблюдались многочисленные признаки структурной реорганизации, такие, как сглаживание полигональности профилей волокон и увеличение вариативности их диаметров, фиброзирование соединительнотканых прослоек и оболочек сосудов артериального звена. Через 70 дней фиксации гистоструктура как *m. quadriceps*, так и *m. biceps femoris* в двух опытных группах существенно различалась, в мышце задней группы эти различия были более выражены. При отсроченном остеосинтезе имели место многочисленные признаки дегенеративно-дистрофических и репаративных процессов мышечной ткани обеих

мышц. К 100-му дню фиксации исследованные мышцы обеих групп морфологически наименее отличалась от интактных мышц.

Известно, что для интактных мышц характерны полигональные единообразные профили мышечных волокон, немногочисленные мелкие ядра в состоянии покоя, минимальные соединительнотканые прослойки. В условиях дистракционного остеосинтеза в мышцах увеличивается число микрососудов, активируются миоцеллиты, ввиду чего возрастает число внутримышечных ядер, при этом в мышцах наблюдаются признаки постнатального онтогенеза [14]. Утрачивание полигональности профилей волокон в той или иной степени, увеличение вариативности их диаметров является показателем пластической реорганизации мышечной ткани, вовлечения её в дегенеративно-дистрофические процессы с последующей репаративной либо непрерывной физиологической регенерацией по типу реституции с полным

восстановлением ткани либо субституции с атрофией (дистрофией) нейрогенного, ангиогенного характера вследствие ишемии или ввиду микротравм костными отломками.

Заключение

Таким образом, при переломах бедра необходима наиболее ранняя репозиция костных отломков, т. к. костное сращение и формирование полноценной костной ткани происходит на месяц раньше, чем при отсроченном остеосинтезе. Мышцы бедра передней группы травмируются в меньшей степени, чем мышцы задней группы. При срочном остеосинтезе четырёхглавая мышца бедра остается фактически интактной в ходе эксперимента. При отсроченной репозиции костных отломков гистоструктура обеих мышц имеет признаки структурной реорганизации. Через 3 мес. фиксации даже при отсроченном остеосинтезе морфология исследованных мышц стремится к интактной норме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Азизов М.Ж., Дурсунов А.М., Абдулхаков Н.Т., Саидиахматхонов С.С. Блокирующий интрамедуллярный остеосинтез при диафизарных переломах длинных костей. *Вестник экстренной медицины*. 2011;(4):38–42. [Azizov M.Zh., Dursunov A.M., Abdulkhakov N.T., Saidiakhamatkhonov S.S. Blokiruyushchiy intramedullarnyy osteosintez pri diafizarnykh perelomakh dlinnykh kostey [Interlocking intramedullary osteosynthesis for shaft fractures of long bones]. *Vestnik ekstremoy meditsiny [Herald of Emergency Medicine]*. 2011;(4):38–42. (In Russian)].
2. Антониади Ю.В., Черницын Д.Н., Жиряков Д.Л., Мукменов М.М., Журавлев А.А., Зверев Ф.Н. Закрытый интрамедуллярный остеосинтез в лечении переломов костей нижней конечности в условиях городской больницы. В кн.: *Мат-лы Всеросс. научно-практ. конф. «Илизаровские чтения»*. Курган, 2010. С. 30–31. [Antoniadi Yu.V., Chernitsin D.N., Zhiryakov D.L., Mukmenov M.M., Zhuravlev A.A., Zverev F.N. Zakrytyy intramedullarnyy osteosintez v lechenii perelomov kostey nizhney konechnosti v usloviyakh gorodskoy bolnitsy [Closed intramedullary osteosynthesis in the treatment of fractures of the lower limb bones in a city hospital]. In: *Mat-ly Vseross. nauchno-prakt. konf. "Ilyazarovskie chteniya"* [Materials of All-Russian Scientific-Practical Conference "Ilyazarov Readings"]. Kurgan, 2010. P. 30–31. (In Russian)].
3. Барабаш А.П., Барабаш А.Ю., Зуев П.П. Доклиническое исследование надежности интрамедуллярных стержней для остеосинтеза у пациентов с оскольчатыми переломами диафиза бедренной кости человека. *Вестник Дагестанской государственной медицинской академии*. 2016;18(1):42–49. [Barabash A.P., Barabash A.Yu., Zuev P.P. Doklinicheskoye issledovaniye nadezhnosti intramedullarnykh stержней dlya osteosinteza u pacientov s oskolchatymi perelomami diafiza bedrennoy kosti cheloveka [Preclinical study of the reliability of intramedullary rods for osteosynthesis in patients with human comminuted femoral shaft fractures]. *Vestnik Dagestanskoy gosudarstvennoy medicinskoy akademii [Herald of Dagestan State Medical Academy]*. 2016;18(1):42–49. (In Russian)].
4. Дергачев В.В., Александров А.Н., Ванхальский С.Б., Онацкий Ю.В., Котенко Р.С., Колесников А.М. Интрамедуллярный блокирующий остеосинтез — современная методика, новые сложности, осложнения. *Травма*. 2011;12(4):20–23. [Dergachev V.V., Aleksandrov A.N., Vankhalskiy S.B., Onatskiy Yu.V., Kotenko R.S., Kolesnikov A.M. Intramedullarnyy blokiruyushchiy osteosintez — sovremennaya metoda

- dika, novye slozhnosti, oslozhneniya [Intramedullary interlocking osteosynthesis — modern technique, new difficulties, complications]. *Trauma*. 2011;12(4):20–23. (In Russian)].
5. Еманов А.А., Горбач Е.Н., Антонов Н.И., Мартель И.И. Особенности остеогенеза при лечении диафизарных переломов бедренной кости в зависимости от тяжести травмы (экспериментальное исследование). *Актуальные вопросы ветеринарной биологии*. 2013;19(3):72–77. [Emanov A.A., Gorbach E.N., Antonov N.I., Martel I.I. Osobennosti osteogeneza pri lechenii diafizarnykh perelomov bedrennoy kosti v zavisimosti ot tyazhesti travmy (eksperimental'noe issledovanie) [Osteogenesis characteristics in the treatment of femoral shaft fractures depending on injury severity (An experimental study)]. *Aktual'nye voprosy veterinarnoy biologii* [Actual Problems of Veterinary Biology]. 2013;19(3):72–77. (In Russian)].
 6. Иванов Д.В., Барабаш А.П., Барабаш А.Ю. Интрамедуллярный стержень нового типа для остеосинтеза диафизарных переломов бедра. *Российский журнал биомеханики*. 2015;(1):1005–1012. [Ivanov D.V., Barabash A.P., Barabash A.Yu. Intramedullary stержen novogo tipa dlya osteosinteza diafizarnykh perelomov bedra [An intramedullary rod of new type for osteosynthesis of femoral shaft fractures]. *Russian Journal of Biomechanics*. 2015;(1):1005–1012. (In Russian)].
 7. Коваленко А.Н., Моисеев Ю.И. Внедрение интрамедуллярного остеосинтеза с блокированием в практику травматологического отделения. Проблемы и решения. В кн.: *Мат-лы Всеросс. научно-практ. конф. «Илизаровские чтения»*. Курган, 2010. С. 173–174. [Kovalenko A.N., Moiseev Yu.I. Vnedrenie intramedullarnogo osteosinteza s blokirovaniem v praktiku travmatologicheskogo otdeleniya. Problemy i resheniya [Introduction of intramedullary osteosynthesis with interlocking into the trauma unit practice. Problems and solutions]. In the book: *Mat-ly Vseross. nauchno-prakt. konf. "Iizarovskie chteniya"* [Materials of All-Russian Scientific-Practical Conference "Iizarov Readings"]. Kurgan, 2010. P. 173–174. (In Russian)].
 8. Котельников Г.П., Мирошниченко В.Ф. *Закрытые травмы конечностей*. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. 496 с. [Kotelnikov G.P., Miroshnichenko V.F. *Zakrytye travmy konechnostey* [Closed injuries of the limbs]. Moscow: GEOTAR-Media Publ., 2009. 496 p. (In Russian)].
 9. Котельников Г.П., Миронов С.П. *Травматология: нац. рук-во*. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. 776 с. [Kotelnikov G.P., Mironov S.P. *Travmatologiya: nats. ruk-vo* [Traumatology: national guide]. Moscow: GEOTAR-Media Publ., 2018. 776 p. (In Russian)].
 10. Плотников И.А. Бондаренко А.В. Осложнения интрамедуллярного блокируемого остеосинтеза диафизарных переломов бедра у пациентов с политравмой. *Политравма*. 2012;(1):15–20. [Plotnikov I.A., Bondarenko A.V. Oslozhneniya intramedullyarnogo blokiruемого osteosinteza diafizarnykh perelomov bedra u patsientov s politravмой [Complications of intramedullary interlocked osteosynthesis of femoral shaft fractures in patients with polytrauma]. *Polytrauma*. 2012;(1):15–20. (In Russian)].
 11. Сергеев С.В., Аль-Бареда А.Я.С. Интрамедуллярный остеосинтез диафизарных переломов бедренной кости. *Медицина критических состояний*. 2012;(2):7–20. [Sergeev S.V., Al-Bareda A.Ya.S. Intramedullyarnyy osteosintez diafizarnykh perelomov bedrennoy kosti [Intramedullary osteosynthesis of femoral shaft fractures]. *Meditsina kriticheskikh sostoyaniy* [Medicine of Critical States]. 2012;(2):7–20. (In Russian)].
 12. Ситник А.А. Интрамедуллярный блокируемый остеосинтез длинных трубчатых костей. Общая техника выполнения, результаты и перспективы. *Российский медицинский журнал*. 2007;(4):22–25. [Sitnik A.A. Intramedullyarnyy blokiruemyy osteosintez dlinnykh trubchatykh kostey. Obschaya tekhnika vypolneniya, rezultaty i perspektivy [Intramedullary interlocked osteosynthesis of long tubular bones. General technique of performance, results and prospects]. *Russian Medical Journal*. 2007;(4):22–25. (In Russian)].
 13. Ситник А.А., Волотовский П.А., Белецкий А.В. Восстановление мягких тканей при открытых переломах голени. *Медицинские новости*. 2016;(11):37–41. [Sitnik A.A., Volotovskiy P.A., Beletskiy A.V. Vosstanovlenie myagkikh tkaney pri otkrytykh perelomakh goleni [Soft tissue recovery in open fractures of the leg]. *Meditsinskie novosti* [Medical News]. 2016;(11):37–41. (In Russian)].
 14. Шевцов В.И., Филимонова Г.Н. Передняя большеберцовая мышца собак на этапах постнатального и дистракционного морфогенеза. *Гений ортопедии*. 2008;(1):74–80. [Shevtsov V.I., Filimonova G.N. Perednyaya bolshebertsovaya myshtsa sobak na etapakh postnatalnogo i distraktsionnogo morfogeneza [Canine anterior tibial muscle at the stages of postnatal and distraction morphogenesis]. *Genius of Orthopaedics*. 2008;(1):74–80. (In Russian)].
 15. Bhav A., Shabtai L., Woelber E., Apelyan A., Paley D., Herzenberg J.E. Muscle strength and knee range of motion after femoral lengthening. *Acta Orthop*. 2017;88(2):179–184. DOI: 10.1080/17453674.2016.1262678.
 16. Bleakney R., Maffulli N. Ultrasound changes to intramuscular architecture of the quadriceps following intramedullary nailing. *J. Sports Med. Phys. Fitness*. 2002;42(1):120–125.
 17. Burghardt R.D., Herzenberg J.E., Specht S.C., Paley D. Mechanical failure of the Intramedullary Skeletal Kinetic Distractor in limb lengthening. *J. Bone Joint Surg. Br*. 2011;93(5):639–643. DOI: 10.1302/0301-620X.93B5.25986.
 18. Hedström M., Sjöberg K., Brosjö E., Åström K., Sjöberg H., Dalén N. Positive effects of anabolic steroids, vitamin D and calcium on muscle mass, bone

- mineral density and clinical function after a hip fracture. A randomised study of 63 women. *J. Bone Joint Surg. Br.* 2002;84(4):497–503.
19. Hennrikus W.L., Kasser J.R., Rand F., Millis M.B., Richards K.M. The function of the quadriceps muscle after a fracture of the femur in patients who are less than seventeen years old. *J. Bone Joint Surg. Am.* 1993;75(4):508–513.
 20. Pires R.E.S., Fernandes H.J.A., Belloti J.C., Balbachovsky D., Faloppa F., Reis F.B. Como são tratadas as fraturas diafisárias fechadas do femur no Brasil? Estudo transversal [How are closed femoral diaphyseal fractures treated in Brazil? A cross-sectional study]. *Acta Orthop. Bras.* 2006;14(3):165–169. (In Portuguese).
 21. Ricci W.M., Gallagher B., Haidukewych G.J. Intramedullary nailing of femoral shaft fractures: current concepts. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* 2009;17(5):296–305.
 22. Sanzarello I., Calamoneri E., D'Andrea L., Rosa M.A. Algorithm for the management of femoral shaft fractures in children. *Musculoskelet. Surg.* 2014;98(1):53–60. DOI: 10.1007/s12306-013-0299-3.
 23. Shalaby H., Simpson H. Femoral lengthening using the intramedullary skeletal kinetic distractor. In: *5th Meeting of the A.S.A.M.I. International* (St. Petersburg, 2008): Program and abstract book. Kurgan, 2008. P. 338–340.
 24. Shemshaki H.R., Mousavi H., Salehi G., Eshaghi M.A. Titanium elastic nailing versus hip spica cast in treatment of femoral-shaft fractures in children. *J. Orthop. Traumatol.* 2011;12(1):45–48. DOI: 10.1007/s10195-011-0128-0.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Филимонова Галина Николаевна*, к.б.н., ФГБУ «Российский научный центр “Восстановительная травматология и ортопедия” им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России;
e-mail: galnik.kurgan@yandex.ru

Антонов Николай Иванович, к.б.н., ФГБУ «Российский научный центр “Восстановительная травматология и ортопедия” им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России;
e-mail: aniv-niko@mail.ru

Еманов Андрей Александрович, к.в.н., ФГБУ «Российский научный центр “Восстановительная травматология и ортопедия” им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России;
e-mail: a_eman@list.ru

Galina N. Filimonova*, Cand. Sci. (Biol.), Russian Scientific Center “Reconstructive Traumatology and Orthopedics” Named after Academician G.A. Ilizarov of the Ministry of Health Care of Russia;
e-mail: galnik.kurgan@yandex.ru

Nikolay I. Antonov, Cand. Sci. (Biol.), Russian Scientific Center “Reconstructive Traumatology and Orthopedics” Named after Academician G.A. Ilizarov of the Ministry of Health Care of Russia;
e-mail: aniv-niko@mail.ru

Andrey A. Emanov, Cand. Sci. (Vet.), Russian Scientific Center “Reconstructive Traumatology and Orthopedics” Named after Academician G.A. Ilizarov of the Ministry of Health Care of Russia;
e-mail: a_eman@list.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author