

**Патоморфология суставного хряща коленного и заплюсневого суставов при экспериментальном замещении пострезекционного дефекта голени методом Илизарова в комбинации с цементным спейсером**

Т.А. Ступина<sup>1</sup>, О.В. Дюрягина<sup>1</sup>, А.А. Еманов<sup>1</sup>, Д.С. Моховиков<sup>1</sup>, Д.Ю. Борзунов<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курган, Россия

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup>Муниципальное автономное учреждение "Центральная городская клиническая больница № 23", г. Екатеринбург, Россия

**Pathomorphology of articular cartilage of the knee and ankle joints in experimental repair of postresection tibial defect using the Ilizarov method and cement spacer**

T.A. Stupina<sup>1</sup>, O.V. Diuriagina<sup>1</sup>, A.A. Emanov<sup>1</sup>, D.S. Mokhovikov<sup>1</sup>, D.Yu. Borzunov<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

<sup>2</sup>Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russian Federation

<sup>3</sup>Central City Clinical Hospital, Ekaterinburg, Russian Federation

**Цель.** Изучить гистоморфометрические характеристики суставного хряща коленного и заплюсневого суставов при замещении пострезекционного дефекта голени методом Илизарова в комбинации с цементным спейсером. **Материалы и методы.** 10 беспородным собакам моделировали дефект-псевдоартроз в верхней трети голени с применением метода Илизарова, затем создавали дефект-диастаз величиной не менее 15 % изначальной длины кости. В диастаз помещали цементный спейсер. Через 30 суток спейсер извлекали, в нижней трети голени после поперечной остеотомии большеберцовой кости осуществляли distraction (1 мм за 4 приема) промежуточного фрагмента до полного контакта костных отломков. Этапы исследования: 60 суток фиксации (Ф60) и 30 суток после демонтажа аппарата (БА30). Проведены гистоморфометрические исследования суставного хряща блока таранной кости и мыщелков бедра. **Результаты.** В срок Ф60 и БА30 структура суставного хряща блока таранной кости не нарушена, к концу эксперимента морфометрируемые параметры сопоставимы с контролем. В 60 % наблюдений на суставной поверхности мыщелков бедра выявлен паннус, отмечено нарушение структуры субхондральной зоны, проникновение костномозгового паннуса и сосудов в глубокую зону хряща. В 40 % наблюдений сохранено зональное строение суставного хряща, паннус не выявлен, сохранена целостность базофильной линии, субхондральная костная пластинка истончена. В срок БА30 сохранялись повышенные значения доли пустых лакун, значения толщины хряща ниже контрольных. **Заключение.** Апробированная в эксперименте методика замещения пострезекционного дефекта голени аппаратом Илизарова в комбинации с цементным спейсером является малотравматичной для суставного хряща заплюсневого сустава, при этом в суставном хряще коленного сустава высок риск возникновения необратимых деструктивных изменений.

**Ключевые слова:** дефект голени, метод Masquelet, суставной хрящ, гистоморфометрия

**Objective** To explore histomorphological characteristics of articular cartilage of the knee and ankle joints in repair of postresection tibial defects using the Ilizarov method and cement spacer. **Material and methods** A defect-nonunion was simulated in the proximal tibia of 10 mongrel dogs using the Ilizarov external fixation followed by application of cement spacer to repair a defect-diastrasis of at least 15 % of the original bone length. The spacer was removed after 30 days and tibial distraction commenced at a rate of 1 mm four times at the site of transverse osteotomy in the distal tibia for bone docking. Histomorphological evaluation of articular cartilage of the trochlea of the talus and femoral condyles was produced at 60-day fixation (F60) and 30 days following frame removal (FR30). **Results** The structure of articular cartilage of the trochlea of the talus was intact at F60 and FR30, and morphometric parameters were comparable with those in controls at the end of experiment. Pannus was detected on the articular surface of the femoral condyles in 60 % of observations, and subchondral bone structure appeared to be impaired with marrow pannus penetrating deep into the cartilage. Intact zonal structure of the cartilage with no pannus, persisted integrity of the basophilic line, thin subchondral bone were observed in 40 % of observations. Compared to controls, greater number of empty lacunes and cartilage thinning were recorded at FR30. **Conclusion** The Ilizarov external fixation and cement spacer used to repair simulated postresection tibial defect was shown to be a cartilage-sparing procedure for the ankle joint with a higher risk of irreversible destructive changes in articular cartilage of the knee joint.

**Keywords:** tibia defect, Masquelet technique, articular cartilage, histomorphometry

ВВЕДЕНИЕ

Крупные дефекты трубчатых костей являются тяжелой патологией опорно-двигательной системы человека и являются серьезной проблемой для современной травматологии и ортопедии [1, 2]. Основные задачи восстановительной хирургии при замещении костного дефекта – восстановление анатомического дефекта костной ткани, опороспособности, функции конечности, устранение косметических дефектов, восстановление трудоспособности

пациента. Результат лечения в значительной степени зависит от методики оперативного вмешательства [3–5].

Применяемые на сегодняшний день технологии лечения дефектов методами несвободной костной трансплантации по Илизарову связаны с длительным периодом фиксации конечности в аппарате, многоэтапностью, сложностью, трудоемкостью лечения и значительными осложнениями [6].

Патоморфология суставного хряща коленного и заплюсневого суставов при экспериментальном замещении пострезекционного дефекта голени методом Илизарова в комбинации с цементным спейсером / Т.А. Ступина, О.В. Дюрягина, А.А. Еманов, Д.С. Моховиков, Д.Ю. Борзунов // Гений ортопедии. 2020. Т. 26, № 3. С. 398–402. DOI 10.18019/1028-4427-2020-26-3-398-402

Stupina T.A., Diuriagina O.V., Emanov A.A., Mokhovikov D.S., Borzunov D.Yu. Pathomorphology of articular cartilage of the knee and ankle joints in experimental repair of postresection tibial defect using the Ilizarov method and cement spacer. *Genij Ortopedii*, 2020, vol. 26, no 3, pp. 398–402. DOI 10.18019/1028-4427-2020-26-3-398-402

Альтернативным подходом к решению проблемы является метод Masquelet, известный как «метод индуцированной мембраны». Технология Masquelet предлагает возможность реконструкции обширных дефектов длинных трубчатых костей с использованием на первом этапе костного цемента в качестве прокладки и аутологичного трансплантата губчатой кости для заполнения дефекта на втором этапе лечения [7–9].

Трудности реабилитации пациентов с дефектами длинных трубчатых костей обусловлены наличием сопутствующих анатомо-функциональных нарушений поврежденной конечности – контрактуры суставов,

укорочение конечности, рубцы мягких тканей, недостаток регионарного кровообращения, инфекционные осложнения [6, 10], некоторые пациенты в последующем нуждаются в эндопротезировании [11].

Гистологические аспекты влияния технологий постепенного замещения дефектов трубчатых костей на состояние смежных суставов мало изучены [12].

**Цель работы** – изучить гистоморфометрические характеристики суставного хряща коленного и запястного суставов при замещении пострезекционного дефекта голени методом Илизарова в комбинации с цементным спейсером.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперимент выполнен на взрослых беспородных собаках ( $n = 10$ ) массой тела  $16,8 \pm 0,4$  кг в возрасте  $3,9 \pm 0,3$  года. Длина голени составляла от 17 до 20 см.

Первоначально на границе верхней и средней трети большеберцовой кости с применением метода Илизарова моделировали псевдоартроз (патент № 2539627 РФ), создавая дефект-диастаз величиной не менее 15 % изначальной длины кости, фиксация в аппарате составила 60 суток. Вторым этапом выполняли резекцию концов отломков до здоровой кости, далее в полученный диастаз помещали спейсер, изготовленный из костного цемента. После полимеризации цемента выполняли встречную компрессию костных отломков для плотного контакта со спейсером. Через 30 суток спейсер извлекали, в нижней трети голени выполняли поперечную остеотомию большеберцовой кости. На седьмые сутки начинали distraction в зоне остеотомии с темпом 1 мм за 4 приема для перемещения среднего фрагмента кости в проксимальном направлении, для достижения полного контакта костных отломков в зоне дефект-диастаза. Длительность distraction составляла 25–28 суток. Аппарат демонтировали через 60 суток фиксации. Этапы исследования – 60 суток фиксации (Ф60,  $n = 5$ ) и 30 суток после демонтажа аппарата (БА30,  $n = 5$ ).

Исследование выполнено с соблюдением принципов гуманного обращения с лабораторными животными в соответствии с Европейской Конвенцией по защите позвоночных животных и Директивой 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях, одобрено этическим комитетом учреждения

#### РЕЗУЛЬТАТЫ

Общее состояние животных во время эксперимента было удовлетворительным. Срок аппаратного этапа составил в среднем 178 суток. За время наблюдения у всех животных отмечалась резорбция кости вокруг спиц, фиксирующих проксимальный отломок, сопровождающаяся отделением серозного экссудата из спицевых каналов в умеренном количестве. В результате появлялась нестабильность системы «кость-аппарат» с тенденцией антекурвационно-вальгусного смещения отломков.

Для предупреждения развития нестабильности костных отломков на втором и третьем этапе оперативного вмешательства выполняли перепроведение спиц.

В течение эксперимента у собак развивалась атрофия мышц и снижалась опороспособность оперированной конечности.

(протокол № 2 (57) от 17.05.18 г.). Содержание и уход за животными регламентировались СП 2.2.1.3218-14; ГОСТом 33215-2014; ГОСТом 33217-2014.

Для морфологического исследования с помощью скальпеля с нагружаемых участков мышечков бедра и блока таранной кости вырезали образцы суставного хряща с субхондральной костью. Часть материала после фиксации в формалине декальцинировали, затем изготавливали парафиновые срезы, которые окрашивали гематоксилином и эозином и трехцветным методом по Массону. Часть материала после альдегидной фиксации заливали в смолу и изготавливали полутонкие срезы (увеличенной площади – до  $8 \text{ мм}^2$ ) [13, 14], которые окрашивали метиленовым синим и основным фуксином. Исследовали и оцифровывали микропрепараты на микроскопе «Opton» (Германия) и «AxioScope. A1» (Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Германия). Гистоморфометрия выполнена в программе «ВидеоТест-Мастер-Морфология» (Россия) по полутонким срезам. Определяли толщину ( $h_{ch}$ , мкм) хряща, площадь хондроцитов ( $S_{ch}$ , мкм<sup>2</sup>), объемную ( $VV_{ch}$ ) и численную ( $NA_{ch}$ ) плотность хондроцитов, рассчитывали долю хондроцитов в составе изогенных групп ( $NN_{is.gr}$ , %) от общего количества хондроцитов и долю пустых лакун ( $NN_{em.lac}$ , %) в общем объеме выборки из 200 лакун. Контроль – суставной хрящ интактных животных ( $n = 5$ ). Анализировали цифровой материал по критериям вариационной и непараметрической статистики в программе AtteStat, версия 1.0, в электронных таблицах Microsoft Excel 97. Гипотезу о различиях проверяли с помощью критерия Вилкоксона.

На всех этапах эксперимента у всех животных макроскопически суставные поверхности блока таранной кости были гладкими, блестящими, белого цвета, с синеватым оттенком. Сохранена структура суставного хряща и цитоархитектоника всех зон, целостность базофильной линии (рис. 1, а). Пустые клеточные лакуны единичны, изогенные группы клеток отмечены во всех зонах хряща. Базофильная линия и субхондральная костная пластинка непрерывны на всем протяжении. Поверхностная зона не разволокнена, паннус не выявлен (рис. 1, б).

Гистоморфометрический анализ выявил в срок Ф60 снижение морфометрируемых параметров  $VV_{ch}$ ,  $NA_{ch}$ ,  $S_{ch}$ ,  $h_{cr}$ , увеличение доли пустых лакун и изогенных групп. К концу эксперимента значения площади хондроцитов и доли изогенных групп превышали контроль, а значения  $NA_{ch}$ ,  $VV_{ch}$ ,  $h_{cr}$  были сопоставимы с контролем (табл. 1).

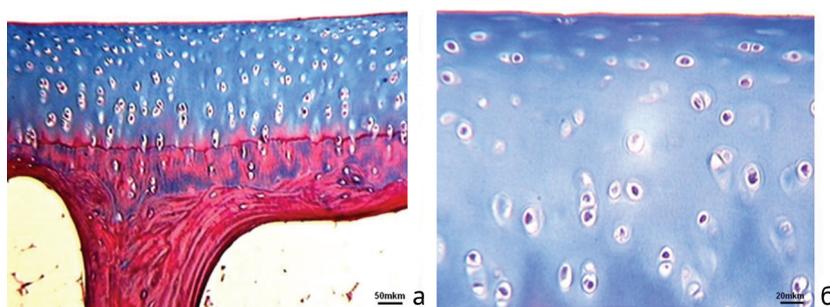


Рис. 1. Суставной хрящ блока таранной кости. Общий вид, 60 суток фиксации (а). Поверхностная и часть промежуточной зоны хряща, без аппарата 30 (б). Парафиновые срезы, окраска по Массону. Об. 6,3; ок. 12,5× (а). Об. 16; ок. 12,5× (б)

Гистоморфометрические характеристики суставного хряща блока таранной кости

Таблица 1

Параметры	VV <sub>ch</sub> (%), M ± m)	NA <sub>ch</sub> (M ± m)	S <sub>ch</sub> (мкм <sup>2</sup> , M ± m)	NN <sub>em.lac</sub> (%)	NN <sub>is.gr</sub> (%)	h <sub>cr</sub> (мкм, M ± m)
Контроль	5,97 ± 0,36	8,95 ± 0,51	66,62 ± 3,95	11,4	8,9	259,15 ± 7,81
Ф60	<b>4,29 ± 0,63</b>	<b>6,59 ± 0,77</b>	<b>51,77 ± 6,88</b>	16,92	10,85	<b>205,84 ± 2,77</b>
БА30	5,63 ± 0,64	7,59 ± 0,71	<b>73,51 ± 5,07</b>	12,84	16,7	248,21 ± 3,49

Примечание: достоверные отличия с контролем при p < 0,05 выделены жирным шрифтом.

При исследовании суставного хряща мыщелков бедра макроскопически суставные поверхности истончены, матовые, фиолетового цвета, местами неровные. У шести из десяти собак (3 собаки в срок Ф60 и 3 собаки на БА30) на суставной поверхности выявлен паннус сосудистого типа, отмечено нарушение зональной структуры суставного хряща и структуры субхондральной зоны (рис. 2, а, б, г).

Под паннусом суставной хрящ истончен, нарушена citoархитектоника, в глубокой зоне отсутствует колончатое расположение клеток, отмечены двух-, трех-, четырехчленные изогенные группы, во всех зонах хряща встречались пустые лакуны. Выявлены участки, в которых отсутствовал базофильный раздел и зона кальцифицированного хряща. Нарушена целостность субхондральной костной пластинки, в местах ее отсут-

ствия костномозговой паннус и сосуды инвазировали глубокую зону хряща (рис. 2, а, в).

У четырех собак (2 собаки в срок Ф60 и 2 собаки БА30) сохранено зональное строение суставного хряща, паннус не выявлен (рис. 2, в). Целостность базофильной линии не нарушена, субхондральная костная пластинка истончена.

Гистоморфометрический анализ выявил на всех этапах эксперимента увеличение численной плотности клеток, но за счет уменьшения их площади объемная плотность была снижена, к концу эксперимента отмечена динамика увеличения данных параметров относительно предыдущего срока эксперимента. В срок БА30 сохранялись повышенные значения доли пустых лакун и изогенных групп, численная плотность хондроцитов была выше контроля. Значения толщины хряща на протяжении всего эксперимента были ниже контрольных (табл. 2).

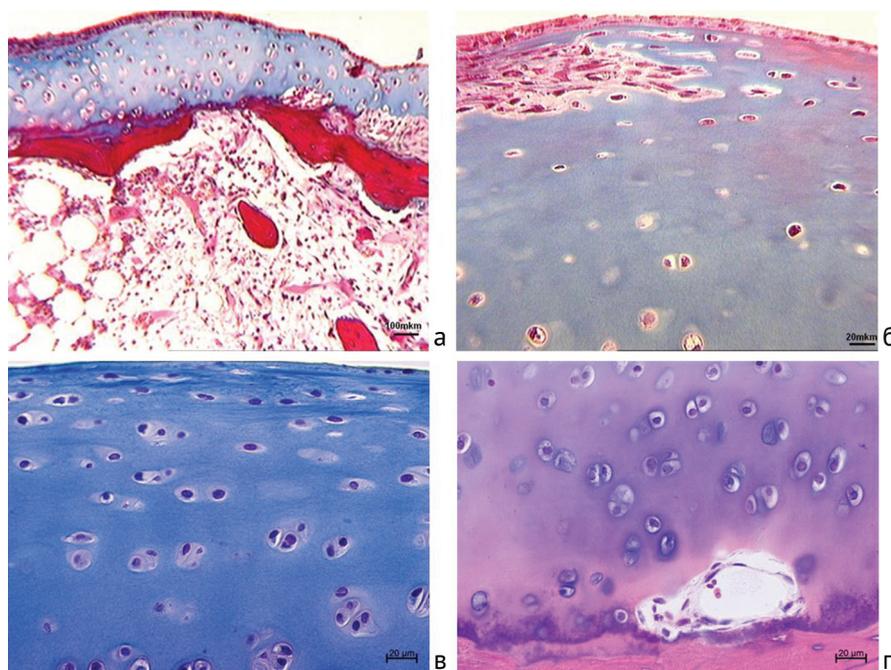


Рис. 2. Суставной хрящ мыщелков бедра. 60 суток фиксации (а, б) и 30 суток без аппарата (в, г). Общий вид (а), инвазирующий поверхностную зону паннус (б), суставная поверхность без паннуса (в), сосуды в глубокой зоне хряща (г). Парафиновый срез, окраска по Массону (а, б, в), гематоксилином и эозином (г). Об. 2,5; ок. 12,5× (а). Об. 40; ок. 12,5× (б, в, г)

Гистоморфометрические характеристики суставного хряща мыщелков бедра

Таблица 2

Параметры	VV <sub>ch</sub> (%), M ± m)	NA <sub>ch</sub> (M ± m)	S <sub>ch</sub> (мкм <sup>2</sup> , M ± m)	NN <sub>em.lac</sub> (%)	NN <sub>is.gr</sub> (%)	h <sub>cr</sub> (мкм, M ± m)
Контроль	9,03 ± 1,04	6,1 ± 0,78	87,5 ± 3,79	13,61	14,5	475,5 ± 1,3
Ф60	<b>3,87 ± 0,29</b>	<b>8,85 ± 0,44</b>	<b>45,72 ± 3,16</b>	17,5	8,96	<b>327,07 ± 4,13</b>
БА30	<b>6,34 ± 0,51</b>	<b>9,37 ± 0,58</b>	<b>62,83 ± 1,52</b>	24,6	16,3	<b>342,91 ± 5,13</b>

Примечание: достоверные отличия с контролем при p < 0,05 выделены жирным шрифтом.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенного исследования показали, что апробированная в эксперименте методика замещения пострезекционного дефекта голени аппаратом Илизарова в комбинации с цементным спейсером малотравматична для суставного хряща заплюсневого сустава. Структура суставного хряща блока таранной кости не нарушена, к концу эксперимента морфометрируемые параметры сопоставимы с контролем.

Известно, что артроз голеностопного сустава имеет очень низкую распространенность по сравнению с патологией коленного сустава. Ряд исследователей связывают это с особенностью цитоархитектоники поверхностной зоны суставного хряща голеностопного сустава (наличием горизонтально расположенных изогенных групп клеток), определяющей восстановительные способности хрящевой ткани [15, 16].

Процессы гибели хондроцитов у интактных животных интенсивнее выражены в суставном хряще мыщелков бедра, чем в суставном хряще блока таранной кости, выше значения доли пустых лакун [17].

Эта закономерность прослеживалась и в данном эксперименте, большее увеличение доли пустых лакун отмечено в суставном хряще мыщелков бедра, а в суставном хряще блока таранной кости зарегистрированы более высокие значения доли изогенных групп клеток.

В 60 % наблюдений на суставной поверхности мыщелков бедра выявлен паннус, нарушение структуры субхондральной зоны, регистрировалось проникновение сосудов и костномозгового паннуса в глубокую зону хряща.

Известно, что проникновение сосудов в хрящ как со стороны суставной поверхности, так и со стороны субхондральной зоны способствует нарушению хондрогематического барьера, усилению окислительных и

гидролитических процессов, в этих условиях хрящевая ткань некротизируется и кальцифицируется [18].

Появление сосудистого паннуса на суставной поверхности может быть следствием воспалительно-деструктивных изменений периартикулярных тканей, а нарушение структуры базофильного раздела, пенетрация сосудов в глубокую зону хряща связаны с деструкцией подлежащей субхондральной кости, недостатком кровоснабжения, денервационными изменениями передней большеберцовой мышцы, деструкцией малоберцовых нервов [19], обусловленными нарушением стабильности фиксации, длительностью аппаратного периода, связанного с многоэтапностью оперативного вмешательства.

При удлинении голени у собак на уровне метадиафиза (режим distraction 1 мм за 4 приема) показана зависимость интенсивности деструкции хряща и воспаления синовиальной оболочки коленного сустава от стабильности фиксации [20].

В проведенных ранее экспериментальных исследованиях при замещении дефектов костей голени, при обеспечении благоприятных биомеханических условий (чрескостный остеосинтез по Илизарову), в суставном хряще были отмечены изменения деструктивно-репаративного характера, паннус не выявлен, но присутствовал синовит [12].

Суставной хрящ вносит наибольший вклад в функцию сустава и обладает уникальными функциональными возможностями. Возможности репарации суставного хряща ограничены, нелеченое повреждение хряща, независимо от происхождения, не обладает способностью спонтанного восстановления [21].

Выявленные патологические изменения суставного хряща мыщелков бедра у шести животных имеют необратимый характер.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Апробированная в эксперименте методика замещения пострезекционного дефекта голени аппаратом Илизарова в комбинации с цементным спейсером является малотрав-

матичной для суставного хряща заплюсневого сустава, при этом в суставном хряще коленного сустава в 60 % наблюдений выявлены необратимые деструктивные изменения.

## ЛИТЕРАТУРА

- Molina C.S., Stinner D.J., Obremsky W.T. Treatment of traumatic segmental long-bone defects: A critical analysis review // JBJS Rev. 2014. Vol. 2, No 4. DOI: 10.2106/JBJS.RVW.M.00062.
- Giannoudis P.V. Treatment of bone defects: bone transport or the induced membrane technique? // Injury. 2016. Vol. 47, No 2. P. 291-292. DOI: 10.1016/j.injury.2016.01.023.
- Induced membrane technique for treating tibial defects gives mixed results / R. Morris, M. Hossain, A. Evans, I. Pallister // Bone Joint J. 2017. Vol. 99-B, No 5. P. 680-685. DOI: 10.1302/0301-620X.99B5.BJJ-2016-0694.R2.
- Шевцов В.И., Борзунов Д.Ю. Реабилитация пациентов с дефектами и ложными суставами длинных костей, современное состояние проблемы // Гений ортопедии. 2008. № 4. С. 48-54.
- Замещение обширных диафизарных дефектов длинных костей конечностей / А.П. Барабаш, Л.А. Кесов, Ю.А. Барабаш, С.П. Шпиняк // Травматология и ортопедия России. 2014. № 2 (72). С. 93-99.
- Шастов А.Л., Кононович Н.А., Горбач Е.Н. Проблема замещения посттравматических дефектов длинных костей в отечественной травматолого-ортопедической практике (обзор литературы) // Гений ортопедии. 2018. Т. 24, № 2. С. 252-257. DOI: 10.18019/1028-4427-2018-24-2-252-257.
- Management of Large Bone Defects in Diaphyseal Fractures by Induced Membrane Formation by Masquelet's Technique / R. Sivakumar, M.G. Mohideen, M. Chidambaram, T. Vinoth, P.K. Singhi, V. Somashekar // J. Orthop. Case Rep. 2016. Vol. 6, No 3. P. 59-62. DOI: 10.13107/jocr.2250-0685.508.
- Induced membrane technique: Advances in the management of bone defects / W. Han, J. Shen, H. Wu, S. Yu, J. Fu, Z. Xie // Int. J. Surg. 2017. Vol. 42. P. 110-116. DOI: 10.1016/j.ijsu.2017.04.064.
- Saxer F., Eckardt H. Rekonstruktion ossärer Defekte mit der Masquelet-Technik [Reconstruction of osseous defects using the Masquelet technique] // Orthopäde. 2017. Vol. 46, No 8. P. 665-672. DOI: 10.1007/s00132-017-3443-1.
- Состояние травматолого-ортопедической помощи населению Российской Федерации / С.П. Миронов, Е.П. Какорина, Т.М. Андреева, Е.В. Огрызко // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2007. № 3. С. 3-10.
- Results of the Induced Membrane Technique in the Management of Traumatic Bone Loss in the Lower Limb: A Cohort Study / D. Giotikas, N. Tarazi, L. Spalding, M. Nabergoj, M. Krkovic // J. Orthop. Trauma. 2019. Vol. 33, No 3. P. 131-136. DOI: 10.1097/BOT.0000000000001384.
- Особенности структурной реорганизации суставного хряща и синовиальной оболочки коленного сустава при замещении пострезекционного дефекта костей голени в условиях чрескостного остеосинтеза аппаратом Илизарова в эксперименте / А.А. Еманов, Т.А. Ступина, Д.Ю. Борзунов, А.Л. Шастов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12-7. С. 1228-1232.

13. Проблема эффекта Холмса в количественной телепатологии (методические аспекты) / М.М. Щудло, Т.Н. Варсегова, Т.А. Ступина, И.В. Борисова, С.В. Гордичук, Л.В. Воинкова, А.В. Кобелев // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. 2003. № 1. С. 120-124.
14. Ступина Т.А., Щудло М.М. Способ изготовления препаратов недекальцинированного суставного хряща с подлежащей субхондральной костью для многоцелевых исследований // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2014. Т. 157, № 3. С. 388-390.
15. Horizontally oriented clusters of multiple chondrons in the superficial zone of ankle, but not knee articular cartilage / B.L. Schumacher, J.L. Su, K.M. Lindley, K.E. Kuettner, A.A. Cole // Anat. Rec. 2002. Vol. 266, No 4. P. 241-248. DOI: 10.1002/ar.10063.
16. Distinct horizontal patterns in the spatial organization of superficial zone chondrocytes of human joints / B. Rolauuffs, J.M. Williams, A.J. Grodzinsky, K.E. Kuettner, A.A. Cole // J. Struct. Biol. 2008. Vol. 162, No 2. P. 335-344. DOI: 10.1016/j.jsb.2008.01.010.
17. Ступина Т.А., Степанов М.А. Оценка численности хондроцитов в суставном хряще при дистракционном остеосинтезе голени в комбинации с наkostной пластиной // Гений ортопедии. 2017. Т. 23, № 4. С. 467-470.
18. Сустав: морфология, клиника, диагностика, лечение / В.Н. Павлова, Г.Г. Павлов, Н.А. Шостак, Л.И. Слущкий. М. : Медицинское информационное агентство, 2011. 552 с.
19. Гистоморфометрические характеристики передней большеберцовой мышцы и малоберцового нерва при экспериментальном замещении пострезекционного дефекта голени аппаратом Илизарова в комбинации с методом Masquelet / Д.С. Моховиков, Т.А. Ступина, Т.Н. Варсегова, О.В. Дюрягина, А.А. Еманов, Д.Ю. Борзунов // Гений ортопедии. 2020. Т. 26, № 2. С. 216-221.
20. Гистоморфометрический анализ суставного хряща и синовиальной оболочки коленного сустава при метадиафизарном удлинении голени (экспериментально-морфологическое исследование) / Т.А. Ступина, Н.А. Щудло, Н.В. Петровская, М.А. Степанов // Травматология и ортопедия России. 2013. № 1 (67). С. 80-86.
21. Макушин В.Д., Ступина Т.А. К вопросу об активизации процессов, регулирующих восстановление структуры суставного хряща (обзор литературы и собственные данные) // Гений ортопедии. 2014. № 1. С. 82-88.

Рукопись поступила 31.03.2020

#### Сведения об авторах:

1. Ступина Татьяна Анатольевна, д. б. н., ФГБУ «НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия, Email: StupinaSTA@mail.ru
2. Дюрягина Ольга Владимировна, к. в. н., ФГБУ «НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия, Email: diuriagina@mail.ru
3. Еманов Андрей Александрович, к. в. н., ФГБУ «НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия
4. Моховиков Денис Сергеевич, к. м. н., ФГБУ «НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия
5. Борзунов Дмитрий Юрьевич, д. м. н., ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России» Минздрава России, г. Екатеринбург, Россия, МАУ "ЦГКБ № 23", г. Екатеринбург, Россия, Email: borzunov@bk.ru

#### Information about the authors:

1. Tatyana A. Stupina, Ph.D. of Biological Sciences, Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation, Email: StupinaSTA@mail.ru
2. Olga V. Diuriagina, Ph.D. of Veterinary Sciences, Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation, Email: diuriagina@mail.ru
3. Andrey A. Emanov, Ph.D. of Veterinary Sciences, Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation
4. Denis S. Mkhovikov, M.D., Ph.D., Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation
5. Dmitry Yu. Borzunov, M.D., Ph.D., Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russian Federation, Central City Clinical Hospital, Ekaterinburg, Russian Federation, Email: borzunov@bk.ru