
МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТИНА ТЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА ОСТЕОРЕПАРАЦИИ В ПРОМЕЖУТОЧНОМ ФРАГМЕНТЕ ПОЛИФОКАЛЬНЫХ ПЕРЕЛОМОВ ДЛИННЫХ КОСТЕЙ КОНЕЧНОСТЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МЕТОДА ОСТЕОСИНТЕЗА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Э.Ю. ВАЛИЕВ^{1,2}, А.А. САЙПИЕВ³, Е.Н. ОВЧИННИКОВ⁴,
О.В. ДЮРЯГИНА⁴, О.Э. ВАЛИЕВ²

¹Республиканский научный центр экстренной медицинской помощи, Ташкент, Узбекистан

²Центр развития профессиональной квалификации медицинских
работников, Ташкент, Узбекистан

³Навоийский филиал Республиканского научного центра
экстренной медицинской помощи, Узбекистан

⁴ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии
имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган, Российская Федерация

MORPHOLOGICAL PICTURE OF THE COURSE OF OSTEOREPARATION IN THE INTERMEDIATE FRAGMENT OF LONG LIMB POLYPOCAL FRACTURES, DEPENDING ON THE METHOD OF OSTEOSYNTHESIS IN THE EXPERIMENT

E.YU. VALIEV^{1,2}, A.A. SAYPIEV³, E.N. OVCHINNIKOV⁴, O.V. DURYAGINA⁴, O.E. VALIEV²

¹Republican Scientific Center for Emergency Medical Care, Tashkent, Uzbekistan

²Center for the Development of Professional Qualifications of Medical Workers, Tashkent, Uzbekistan

³Navoi branch of the Republican Scientific Center for Emergency Medical Care, Uzbekistan

⁴FGBU "National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics named after
Academician G.A. Ilizarov" Russian Ministry of Health, Kurgan, Russian Federation

Цель. Изучение репаративного остеогенеза при лечении полифокальных повреждений длинных костей конечностей в эксперименте на примере перелома костей голени.

Материал и методы. Экспериментальное исследование проводили на экспериментальной модели поперечного сегментарного перелома в нижней трети диафиза большеберцовой кости на кроликах. Проведен анализ экспериментального исследования совместно с Национальным медицинским исследовательским центром травматологии и ортопедии имени Г.А. Илизарова, г. Курган, МЗ РФ. В группе животных моделировали двойной перелом диафиза, проводили фиксацию перелома аппаратом Илизарова. Сроки эксперимента: 28-е сутки, 56-е сутки фиксации и 35-е сутки после демонтажа аппарата. Общая продолжительность эксперимента – 91 сутки.

Результаты. При микроскопическом исследовании методом световой микроскопии отмечено, что при правильном сопоставлении отломков, в отсутствии их смещения, можно достичь прочного костного сращения по всем уровням к окончанию периода фиксации в аппарате через 56 суток эксперимента. Сочетание метода чрескостного остеосинтеза по Г.А. Илизарову и интрамедуллярного армирования металлической спицей при лечении полифокальных переломов способствует активизации периостального и эндостального остеогенеза, наряду с интрамедуллярным, стимуляции ангиогенеза в интрамедуллярной зоне. Это приводит к формированию полноценного костного сращения в области проксимального и дистального переломов большеберцовой кости к 56 суткам фиксации. Созданные условия способствуют уменьшению порозности компактной пластинки костных отломков и свободного срединного костного фрагмента, а также формированию более компактной кости в области сращения по сравнению с серией сравнения. Кроме того, стабилизация дистального отломка за счет дополнительной фиксации, армирующей

интармедуллярной спицей, приводит к более быстрой перестройке сосудистого русла в дистальной части большеберцовой кости.

Ключевые слова: полифокальные переломы, чрескостный остеосинтез, промежуточный фрагмент, репаративный остеогенез.

Aim. The study of reparative osteogenesis in the treatment of multifocal injuries of the long bones of the extremities in an experiment, using the example of a fracture of the shin bones.

Material and methods. An experimental study was carried out on an experimental model of a transverse segmental fracture in the lower third of the tibial diaphysis in rabbits. An analysis of the experimental study was carried out jointly with the National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after G.A. Ilizarov, Kurgan, Ministry of Health of the Russian Federation. In a group of animals, a double fracture of the diaphysis was simulated, and the fracture was fixed with an Ilizarov apparatus. Duration of the experiment: 28 days, 56 days of fixation and 35 days after dismantling the device. The total duration of the experiment was 91 days.

Results. Light microscopy revealed that, with proper fragment alignment and no displacement, strong bone fusion could be achieved at all levels by the end of the fixation period (56 days). The combination of transosseous osteosynthesis using the G.A. Ilizarov method and intramedullary reinforcement with a metal pin in the treatment of polyfocal fractures promotes periosteal and endosteal osteogenesis, along with intramedullary osteogenesis and angiogenesis stimulation in the intramedullary zone. This approach facilitates complete bone fusion in the proximal and distal tibial fracture sites by the end of the fixation period. Additionally, the created conditions reduce the porosity of the cortical bone in both the main fragments and the free median bone fragment, leading to the formation of denser bone in the fusion area compared to the control series. Furthermore, stabilization of the distal fragment through additional intramedullary reinforcement accelerates vascular bed remodeling in the distal tibia.

Keywords: polyfocal fractures, transosseous osteosynthesis, intermediate fragment, reparative osteogenesis.

https://doi.org/10.54185/TBEM/vol18_iss1/a5

Введение

Двойные переломы длинных трубчатых костей сопровождаются более обширными повреждениями прилежащих мягких тканей (в том числе сосудов и нервов), что тоже негативно влияет на процессы консолидации отломков [1, 2]. Фрагментарные повреждения длинных костей возникают в результате воздействия высокоэнергетической травмирующей силы, при которой костная и окружающие мягкие ткани страдают на большом протяжении [3, 4, 5]. Характерной особенностью оскольчатых, многооскольчатых и фрагментарных переломов длинных костей, полученных в результате ДТП, кататравм и других факторов, обладающих высокой энергией, является тяжелое повреждение кости, иногда на значительном протяжении диафиза, большое сме-

щение костных фрагментов и осколков, отслойка их от надкостницы, интерпозиция тканей в области перелома, ушиб, разможнение и расслоение мышц, отслойка кожи, наличие гематом [6, 7, 8, 9]. Такие повреждения замедляют консолидацию перелома вследствие более продолжительной фазы вазоконстрикции [10]. При двойных переломах формируется ряд биологических и биомеханических особенностей, затрудняющих процессы репаративной регенерации кости. Одним из факторов, влияющим на заживление перелома, является дискоординация периферического кровообращения и дислокация костного фрагмента, а также состояние минеральной плотности кости [11, 12, 13]. Обусловлены они наличием промежуточного костного фрагмента, который оказывается выключенным из внутри-

костного кровотока с развитием выраженных гемодинамических нарушений, вследствие чего в 10% случаев, независимо от метода лечения, он подвергается асептическому некрозу [14, 15, 16, 17]. Нарушения периферического кровообращения возникают как вследствие повреждения сосудистого русла (особенно внутрикостных питающих артерий), так и повреждения эндоста, роль которого в репаративном процессе костной ткани очень велика [18, 19, 20].

Публикации по данной теме немногочисленны и различаются в подходах к лечению [21, 22, 23]. В отличие от простых одноплоскостных, оскольчатые и многооскольчатые переломы трубчатых костей всегда усложняют выбор способа вправления и фиксации отломков костей [24, 25]. Одни авторы отдают предпочтение закрытому вправлению отломков и внеочаговой фиксации, другие активно используют открытое их сопоставление и погружной остеосинтез [26].

В итоге следует заметить, что средства активизации течения репаративного остеогенеза способны более реально отразить состояние заживления перелома при комплексном их использовании. В равной степени и методы хирургической реабилитации пациентов с полифокальными переломами могут быть наиболее позитивны при комбинированном использовании и адаптации к особенностям клинического течения и заживления костной раны. Анализ литературных данных показывает, что двойные переломы длинных трубчатых костей не до конца изучены [27, 28].

Цель

Изучение результатов лечения полифокальных переломов длинных костей конечностей с позиции развития неблагоприятных исходов путем анализа экспериментального исследования.

Материал и методы

В данной экспериментальной работе мы изучали и проанализировали результаты диагностики и лечения с полифокальными переломами большеберцовой кости у кроликов совместно, в условиях экспериментального отдела Национального медицинского исследовательского центра травматологии и ортопедии имени Г.А. Илизарова, г. Курган, МЗ РФ и Республиканского научного центра экстренной медицинской помощи. Целью данного совместного исследования было изучение кровоснабжения в промежуточном фрагменте при полифокальных переломах длинных костей конечностей с учетом различных методов остеосинтеза.

Исследование было выполнено на клинически здоровых кроликах – самцах породы «советская шиншилла» в возрасте 14–16 месяцев, весом 4,4 (4,3–4,85) кг. Длина большеберцовой кости у животных составляла 123,3 (121,35–121,65) мм. Критерии исключения – болезни опорно-двигательной системы: рахит, деформации конечностей. У кроликов выполняли моделирование полифокального перелома большеберцовой кости в нижней трети. Остеосинтез перелома выполняли методом Илизарова или комбинацией метода Илизарова и интрамедуллярного остеосинтеза. Животные были распределены на следующие экспериментальные серии и группы:

серия 1 (метод Илизарова) (n=6) – остеосинтез перелома методом Илизарова. Срок эксперимента: 56 суток после операции (фиксация 56 суток) (n=3) и 91 сутки после операции (35 суток после демонтажа аппарата) (n=3);

серия 2 (комбинированный остеосинтез) (n=6) – остеосинтез перелома методом Илизарова с дополнительным интрамедуллярным остеосинтезом спицей из нержавеющей стали. Срок эксперимента: 56 суток после операции (фиксация 56 суток) (n=3) и 91 сутки после операции (35 суток после демонтажа аппарата) (n=3).

Конструкция аппарата Илизарова состояла из четырех дуговых опор диаметром 45 мм. Две проксимальные опоры были развернуты открытой частью назад, две дистальные опоры – вперед, чтобы не ограничивать движение конечности в коленном и голеностопном суставе. Опоры были соединены между собой резьбовыми стержнями (рис. 1).

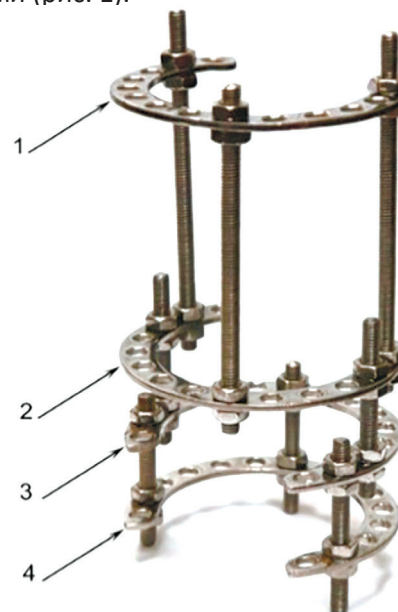


Рис. 1. Компонировка аппарата Илизарова для фиксации полифокального перелома у кролика: 1, 2 – проксимальные опоры, 3, 4 – дистальные опоры

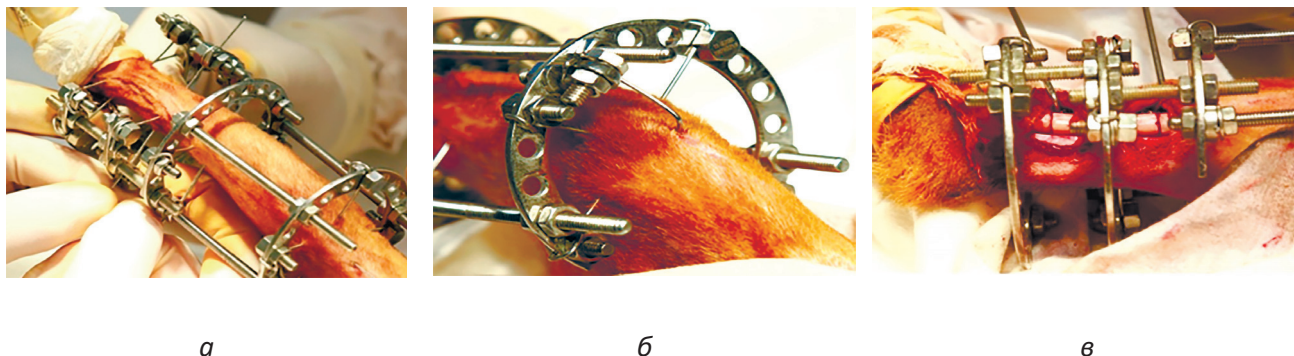


Рис. 2. Этапы остеосинтеза большеберцовой кости методом Илизарова и моделирование двойного перелома: а – общая видимость компоновки методом Илизарова; б – комбинированный метод фиксации; в – моделирование двойного перелома на большеберцовой кости кролика

В качестве костных фиксаторов использовали спицы Киршнера без упорной площадки диаметром 1 мм с перовой заточкой. На первом, третьем и четвертом уровнях (опорах) проводили по две сквозные взаимоперекрещивающиеся спицы. На втором уровне – 1 сквозную, одну консольную.

Перед выполнением остеосинтеза сначала собирали компоновку аппарата, регулировали расстояние между опорами (рис. 1). Далее проводили по одной спице на первом проксимальном (опора 1), затем – на втором дистальном уровне (опора 4). Центрировали голень кролика относительно аппарата. Далее проводили по одной спице на втором проксимальном (опора 2) и первом дистальном уровне (опора 3). Затем осуществляли проведение второй спицы на каждой опоре в такой же последовательности. Спицы последовательно закрепляли на опорах аппаратов при помощи болтов-спицефиксаторов с пазом и гаек М4, натяжение спиц осуществляли поворотом ключа. В обеих сериях эксперимента использовали одинаковую конструкцию аппарата Илизарова (рис. 2).

Моделирование полифокального перелома осуществляли на уровне нижней трети большеберцовой кости. Первый уровень располагался на расстоянии 16,26 (15,7–16,77) мм проксимальнее медиальной лодыжки, второй уровень – отступив 24,7 (24,25–25,8) мм проксимально от первого уровня остеотомии. Уровни остеотомии были расположены между 2 и 3, 3 и 4 опорами аппарата.

Перед выполнением остеотомии у животных серии 2 интрамедуллярно введенную спицу выводили наружу на 1/2 длины для предотвращения ее деформации или распиливания (рис. 2 в). После выполнения остеотомии, перед ушиванием операционной раны, спицу вводили обратно (интрамедуллярно), до упора в дистальный ме-

тафиз кости, и закрепляли ее на первой проксимальной опоре аппарата посредством кронштейна (рис. 2 б).

На основании вышеизложенного был смоделирован полный поперечный полифокальный перелом в нижней трети большеберцовой кости (рис. 2 в). Длина свободного (среднего) фрагмента составила 20,3%, длина дистального фрагмента – 16,26% от длины большеберцовой кости. Перелом был осложнен циркулярной отслойкой, сдавливанием и перерастяжением мягких тканей на протяжении 1/3 сегмента, полным повреждением (пересечением) костного мозга на двух уровнях. Таким образом, из совокупности признаков следует, что была воспроизведена тяжелая форма полифокального перелома.

Исследованы гистологические препараты оперированной большеберцовой кости кроликов, взятой на этапах эксперимента по моделированию сегментарного перелома нижней трети диафиза и лечения методами остеосинтеза в аппарате внешней фиксации по Илизарову и комбинированного остеосинтеза. Полученный во время забоя комплекс большеберцовой кости фиксировали в 10% растворе нейтрального формалина на фосфатном буфере (рН 7,2–7,4) в течение 3 суток, промывали в проточной воде, обезживали в спиртах возрастающей концентрации и хлороформе, заливали в парафин с воском. Из парафиновых блоков изготавливали серийные срезы толщиной 5–8 мкм и после депарафинизации в ксилоле окрашивали по три препарата по методу Массона. Количественную оценку производили на оцифрованных изображениях гистологических препаратов, полученных в сканирующем микроскопе Pannoramic Midi II BF (3DHISTECH, Венгрия) по технологии «Whole-slide imaging» с использованием программного продукта Pannoramic Viewer, версия 2.4.

Измерения выполняли в следующих участках проксимальной зоны сращения, дистальной зоны сращения и области свободного фрагмента кости:

- периостальной костной мозоли (каллусе);
- компактной костной пластинке;
- на уровне костномозговой полости.

Количественно оценивали следующие параметры:

- объемную долю костного вещества Vb (%)

$$Vb(\%) = Vb * \frac{100}{Vt}$$

где Vt – общий объем исследованной зоны, Vb – объем костного вещества;

– объемную плотность костного вещества Vbm (%)

$$Vb(\%) = Vb * \frac{100}{Vb}$$

где Vb – объем костного вещества, Vbm – объем костного матрикса;

– линейные размеры костных образований, высоту либо толщину (L , мкм).

Статистический анализ количественных данных выполняли в программе-надстройке AtteStat к электронным таблицам Excel (версия 12.1.7, И.П. Гайдышев, свидетельство № 2002611109). Использованы методы описательной и непараметрической статистики. Результаты количественной оценки представлены в виде медианы Me ($Q50$) и интерквартильного интервала ($Q25$ – $Q75$). Для оценки межгрупповых различий применяли тест Манна–Уитни для малых выборок при критическом уровне значимости $p = 0,05$.

Результаты и обсуждение

При морфологических исследованиях большеберцовой кости кролика при моделировании полифокального перелома и их лечении методом Г.А. Илизарова к окончанию периода аппаратной фиксации (56 сут.) в компактной пластинке проксимального костного отломка наблюдалось незначительное расширение некоторых гаверсовых каналов, отмечено образование периостальных напластований протяженностью более 1 см, толщиной от 0,2 до 1,3 мм. В расширенных полостях гаверсовых каналов визуализировались сосуды капиллярного и артериального типов, в некоторых случаях с утолщением адвентиции последних. Некоторые полости были заполнены жировыми клетками и рыхлой волокнистой соединительной тканью. В костномозговом канале костный мозг состоял из рети-

кулярной ткани, жировых клеток и множества полнокровных микрососудов и сосудов артериального типа. Преобладание жировой ткани отмечено в более проксимально расположенных участках, ближе к зоне перелома – преобладала ретикулярная ткань. В надкостнице сосуды артериального типа имели запустевшие просветы. В межотломковом диастазе в области перелома в проксимальной части большеберцовой кости к окончанию периода фиксации между костными отломками формировалось костное сращение. Сращение обеспечивалось преимущественно интермедиарной костной мозолью и частично – за счет периостально образованной костной ткани. Костная ткань, формирующаяся в интермедиарном пространстве, была достаточно зрелой, имела пластинчатое строение. Гаверсовы каналы были умеренно расширены. В их просветах визуализировались сосуды микроциркуляторного звена. Периостальная костная мозоль была протяженной, шириной 0,3–0,8 мм, отделялась от формирующейся в интермедиарном пространстве компактной пластинки пространством, заполненным рыхлой волокнистой соединительной тканью с жировыми включениями. Периостально образованная костная ткань имела трабекулярное строение или образовывала среднеячеистую губчатую кость. На поверхности периостальных трабекул обнаруживались прикрепленные остеокласты, определялись цепочки остеогенных клеток, что свидетельствовало о ремоделировании данного участка костной мозоли. В костномозговом канале формировалась ретикулярная ткань с жировыми включениями. Интрамедуллярные сосуды были представлены в основном расширенными полнокровными синусоидными капиллярами.

Срединный костный фрагмент состоял из достаточно плотной компактной пластинки (рис. 3 а), поверх которой формировался слой трабекулярной кости со стороны периоста (рис. 3 б). Он был отделен от компактного слоя ячеями, заполненными жировым костным мозгом и микрососудами с признаками фиброза. Для сосудов надкостницы были характерны запустевшие просветы и фиброзирование сосудистых стенок (рис. 3 б). Некоторые гаверсовы каналы компактной пластинки были расширены и заполнены рыхлой волокнистой соединительной тканью с микрососудами (рис. 3 в). В некоторых внутрикостных сосудах выявляли признаки фиброирования периваскулярного пространства. В костномозговом канале формировался жировой костный мозг с очагами фиброзной ткани и микрососудами с признаками фиброза (рис. 3 г).

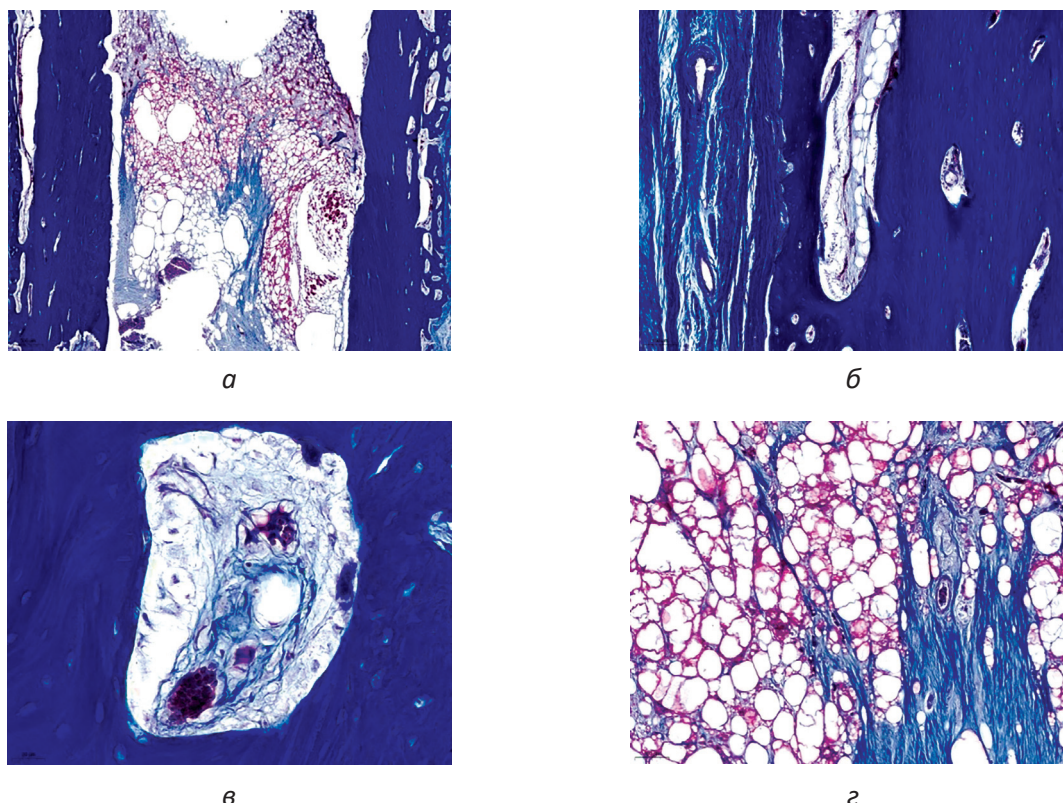


Рис. 3. Гистологические особенности строения срединного костного фрагмента через 56 суток фиксации. Контрольная серия. *а* – срединный костный фрагмент; *б* – порозность компактной пластинки, наличие периостальных напластований; *в* – костная полость, заполненная волокнистой соединительной тканью и микрососуды с фиброзом адвентиции; *г* – преимущественно желтый костный мозг с очагами фиброзной ткани. Окраска по Массону. Увеличение: *а* – 15 х; *б* – 50 х; *в, г* – 100 х

Костный регенерат, формируемый в межотломковом диастазе в области перелома в дистальной части большеберцовой кости, состоял из проксимально-, интермедиарно- и эндостально образованной костной ткани. С латеральной поверхности он был образован средне- и крупночешуйчатой губчатой костью, компактизирующейся со стороны периоста, с медиальной поверхности кость была более компактна также со стороны периоста. Со стороны проксимального отломка практически в горизонтальной плоскости параллельно ориентированные трабекулы костной ткани врастали в интрамедуллярную область. На поверхности трабекул визуализировали тяжи кубовидных остеобластов и прикрепленные остеокласты. В межтрабекулярных полостях формирующейся компактной пластинки обнаруживались полнокровные расширенные капилляры с признаками эритроцитарного стаза. В костномозговой полости определялись участки красно-желтого костного мозга, фиброзная ткань и единичные горизонтально ориентированные костные трабекулы. Компактная пластинка дистального костного отломка отличалась выраженной порозностью и содержала большое коли-

чество костных полостей, заполненных рыхлой волокнистой соединительной тканью с жировыми клетками и микрососудами. Микрососуды имели признаки эритроцитарного стаза, в просветах некоторых из них определялись тромбы, некоторые сосуды были фиброзированы. В костномозговом канале определялся красно-желтый костный мозг, тяжи фиброзной ткани и мелкие костные трабекулы. В интрамедуллярной зоне дистального отломка определялись расширенные полнокровные капилляры синусоидного типа и очаги гемопоэза.

Через 35 суток без аппаратного периода в компактной пластинке проксимального костного отломка наблюдалось умеренное расширение гаверсовых каналов. В них визуализировали сосуды микроциркуляторного русла, как правило, капилляры, венулы и артериолы. Отмечалось полнокровие сосудов. В компактную пластинку врастали сосуды со стороны периоста. В надкостнице кроме сосудов микроциркуляции обнаруживались вены и артерии среднего звена, в большей части с запустевшими просветами. У некоторых сосудов просветы были облитерированы.

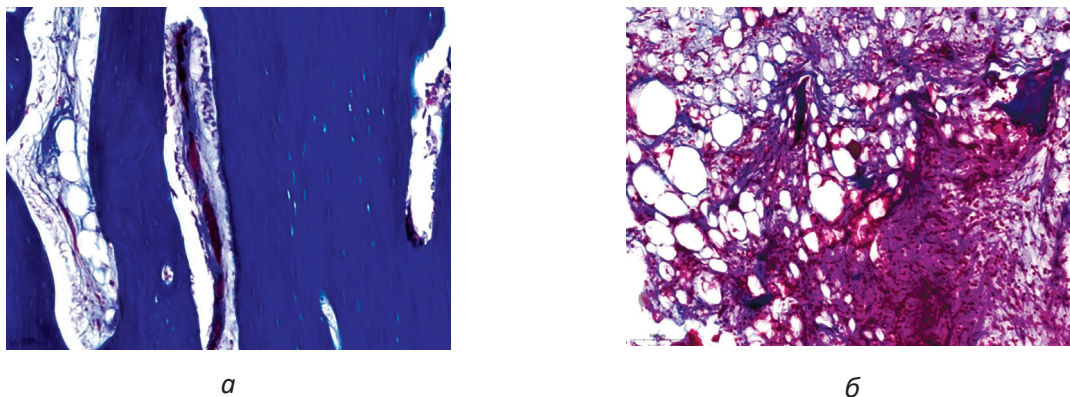


Рис. 4. Гистологические особенности строения срединного костного фрагмента через 35 суток после демонтажа аппарата. Контрольная серия. *а* – жировой костный мозг с очагами рыхлой волокнистой соединительной ткани с рассеянными эритроцитами; *б* – микрососуд в гаверсовом канале. Окраска по Массону. Увеличение: *а* – 15 х; *б* – 100 х

Компактная пластинка срединного костного отломка была более порозна, чем в проксимальном отломке. Максимальный размер полостей составлял 2430 мкм на 430 мкм, минимальный – 320 мкм на 76 мкм. Местами встречались участки расщепления компактной пластинки. Часть сосудов, содержащихся в гаверсовых каналах, были фиброзированы, часть – полнокровны (рис. 4 *а*). На стенках расширенных гаверсовых каналов обнаруживались остеокласты. В области костномозгового канала срединного отломка визуализировали жировой костный мозг с очагами рыхлой волокнистой соединительной ткани с рассеянными эритроцитами или очаги фиброзной ткани, встречались костные трабекулы с признаками остеокластической резорбции (рис. 4 *б*).

Костная мозоль была наиболее зрелой и объемной в проксимальном костном регенерате. В этой области в ее формировании участвовали клетки каналов остеонов, остеогенные клетки эндоста и периоста, тогда как в дистальном регенерате сращение достигалось за счет остеогенеза в интермедиарной зоне. Большая порозность отмечалась в срединном костном фрагменте и в области дистального отломка, которая с увеличением срока эксперимента имела тенденцию к усугублению.

Результаты морфологических исследований большеберцовой кости кролика при моделировании двухуровневых переломов и их лечении методом Г.А. Илизарова в сочетании с интрамедуллярным армированием: через 56 суток эксперимента проксимальный костный отломок, в отличие от серии 1, имел более плотную компактную пластинку с менее расширенными гаверсовыми каналами и наличием трабекулярной кости в области костномозгового канала. Протяженность периостально образованной костной ткани в проксимальном отломке

составляла 7–12 мм, толщина – 0,6–0,8 мм. В костномозговом канале визуализировали фиброретикулярную ткань с редкими жировыми включениями и костными трабекулами, также наблюдали микрососуды капиллярного типа. В надкостнице определяли сосуды среднего звена с запустевшими просветами. У некоторых сосудов просветы были неравномерно сужены либо закрывались. Отмечался гипотонус сосудов.

В компактной пластинке часть микрососудов была полнокровна и расширена, часть фиброзировались, а часть сохраняла органоспецифичность. В единичных сосудах обнаруживались тромбы. На поверхности периостально и эндостально образованных трабекул наблюдали как активные формы остеобластов, так и единичные остеокласты.

Между проксимальным и средним отломками диафиза формировалась мелкоячеистая губчатая кость пластинчатого строения. Сращение обеспечивалось за счет остеогенеза в периостальной, эндостальной и интермедиарной областях. В костномозговом канале в области проксимального регенерата отмечено формирование очагов ретикулярной, волокнистой соединительной тканей, крупноячеистой трабекулярной кости и единичных костных трабекул. Образующиеся в этой зоне сосуды были представлены микроциркуляторным звеном. Для них было характерно умеренное кровенаполнение.

На поверхности костных трабекул в костномозговом канале отмечены молодые остеобласты, располагающиеся цепочкой. Отмечались прикрепленные к поверхности трабекул остеокласты.

Компактная пластинка срединного костного фрагмента с медиальной стороны была более плотной по сравнению с серией 1 (рис. 5 *а*). С ла-

теральной поверхности в компактной пластинке встречались участки, где костная ткань была расщеплена на отдельные остеоны или группы остеонов, между которыми визуализировались полости (рис. 5 в). С периостальной поверхности образовывалась полоса трабекулярной кости пластинчатого строения толщиной от 0,13 мм до 0,3 мм. С латеральной поверхности периостально образованная костная ткань была отделена от компактной пластинки участками с жировым или гемопоэтически-жировым костным мозгом (рис. 5 г). В костномозговом канале визуализи-

ровался жировой костный мозг с многочисленными очагами гемопоэза и микрососудами (рис. 5 д), встречались единичные фрагменты костных трабекул. Сосуды в костном мозге были представлены полнокровными капиллярами синусоидного типа и обычными сосудами капиллярного русла с умеренным кровенаполнением или с запусевшими просветами (рис. 5 е). В компактной пластинке микрососуды обнаруживались в гаверсовых каналах остеонов, как правило, с умеренным кровенаполнением (рис. 5 б). Некоторые сосуды были фиброзированы.

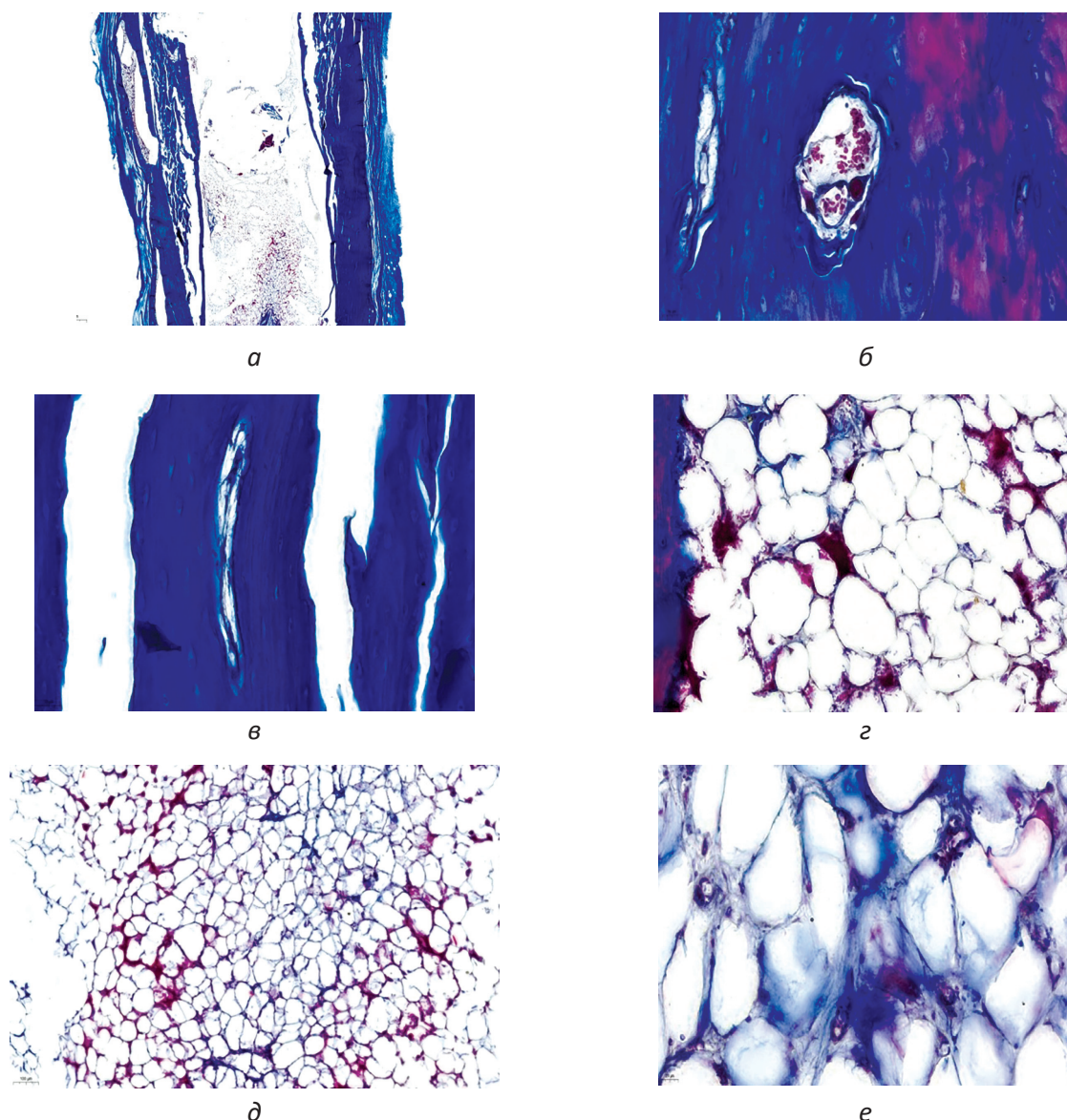


Рис. 5. Гистологические особенности строения срединного костного фрагмента через 56 суток фиксации. Опытная серия. *а* – срединный костный фрагмент; *б* – расширенные каналы остеонов с микрососудами в компактной пластинке; *в* – костные полости, расщепление кости на отдельные остеоны, микрососуды с фиброзом адвентиции; *г*, *д* – преимущественно желтый костный мозг с очагами гемопоэза и полнокровными синусоидами; *е* – микрососуды в костномозговом канале с запусевшими просветами. Окраска по Массону. Увеличение: *а* – 15 х; *д* – 50 х; *в*, *д* – 100 х, *б*, *г* – 400 х, *е* – 600 х

Между срединным костным фрагментом и дистальным костным отломком на гистологических препаратах визуализировалось костное сращение. Оно обеспечивалось за счет остеогенеза в интермедиарной и периостальной зонах. Между отломками формировалась мелкоячеистая губчатая кость преимущественно пластинчатого строения. Толщина периостально образованной костной мозоли составляла 1,2–1,6 мм. В костномозговом канале в области перелома обнаруживались тяжи фиброзной ткани с жировыми включениями, трабекулы, образованные ретикулофиброзной костной тканью, капилляры синусоидного типа, участки геморрагий. Формирующиеся остеонные каналы и поверхность многих костных трабекул были выстланы остеобластами, располагающимися цепочками. В межтрабекулярных промежутках и на поверхности костной ткани выявляли свободные и прикрепленные формы остеокластов. Для части сосудов было характерно умеренное кровенаполнение, каналы некоторых сосудов были запустевшими, а некоторых – полностью замещены фиброзной тканью. Сосуды надкостницы были сужены. Их наружные слои фиброзированы. С латеральной поверхности компактная пластинка дистальной части срединного костного фрагмента и проксимальной части дистального отломка отличалась выраженной порозностью.

Костная ткань компактной пластинки дистального костного отломка отличалась выраженной порозностью. Между отдельными остеонами наблюдались пустоты. Поверх компактной пластинки со стороны периоста отмечено формирование протяженных тяжелей костной ткани. Толщина периостальных напластований составляла 0,4–3,5 мм. Наибольший объем периостально образованной костной ткани был отмечен с латеральной поверхности. В компактной пластинке часть микрососудов была расширена и полнокровна, а часть – фиброзирована. Многие внутрикостные сосуды имели запустевшие просветы. В некоторых микрососудах формировались тромбы. В костномозговом канале определялся, как правило, жировой костный мозг с немногочисленными очагами гемопоэза. Кроме того, в костномозговом канале визуализировали наличие костных трабекул и участки студенистого костного мозга с включениями очагов костной ткани ретикулофиброзного строения и фрагментов фиброзной ткани. На поверхности костных трабекул активных остеобластов не наблюдалось. Остеокласты были единичны.

Через **35 суток после демонтажа аппарата** в серии с интрамедуллярным армированием

компактная пластинка проксимального костного отломка, как и в серии сравнения, содержала умеренное количество расширенных полостей гаверсовых каналов. Во многих гаверсовых каналах обнаруживались микрососуды, но некоторые каналы были запустевшими. С латеральной поверхности практически у всех животных отмечено формирование периостально образованной костной ткани протяженностью до 10 мм вдоль компактной пластинки до зоны проксимального перелома большеберцовой кости. Ширина периостальных напластований варьировала от 1 до 4,3 мм. Периостальная кость имела трабекулярное строение. Трабекулы были образованы пластинчатой костной тканью. На поверхности периостальных трабекул и в каналах остеонов компактной пластинки отломков наблюдали прикрепленные к костной поверхности остеобласты кубовидной формы, плотно прилегающие друг к другу.

Срединный костный отломок характеризовался, в отличие от контрольной серии, менее выраженной порозностью компактной пластинки и наличием периостально образованной костной ткани. Протяженность и поперечные размеры полостей в компактной пластинке срединного отломка были меньше, чем в контроле (максимальные – 50 x 100 мкм). Периостальная кость была образована тонким слоем (до 300 мкм толщиной) крупно- и среднеячеистой губчатой кости. Расщепления компактной пластинки (в отличие от контроля) не происходило ни в одном из случаев. В каналах остеонов обнаруживались микрососуды и рыхлая волокнистая соединительная ткань (рис. 6 а). На стенках гаверсовых каналов отмечены прикрепленные остеокласты. Костномозговой канал в данный период в анализируемой зоне содержал жировой костный мозг с участками гемопоэза, микрососудами и единичными костными трабекулами. В надкостнице встречались полнокровные сосуды мелкого звена. В некоторых сосудах среднего звена отмечено фиброзирование просветов (рис. 6 б).

В области дистального перелома между костными отломками наблюдалось костное сращение. Компактная пластинка была образована компактизирующейся костной тканью. Средняя величина поперечного сечения новообразованной в области сращения компактной пластинки составляла до 700 мкм против до 500 мкм в контроле. Хотя в компактной пластинке и имелись значительные по размерам полости, но они были заполнены преимущественно гемопоэтическим костным мозгом. На поверхности костных структур наблюдали наличие активных остеобластов

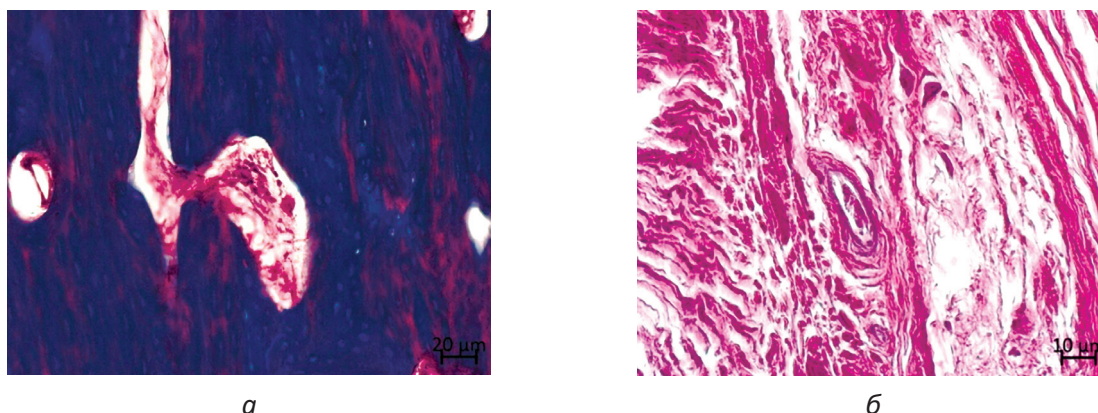


Рис. 6. Гистологические особенности строения срединного костного фрагмента через 35 суток после демонтажа аппарата. Опытная серия. *а* – микрососуды в гаверсовых и фолькмановых каналах компактной пластинки; *б* – микрососуды надкостницы. Окраска по Массону. Увеличение: *а* – 50 х; *б* – 100 х

и остеокласты, что свидетельствует о продолжающихся процессах костного ремоделирования, ведущего к компактизации кости в этой зоне. В костномозговой полости в этой зоне определялся желатинозный костный мозг с очагами гемопоэза и жировыми клетками. Большинство микрососудов содержали форменные элементы крови и были расширены. В некоторых немногочисленных сосудах обнаружены признаки формирования смешанных тромбов.

Компактная пластинка дистального костного отломка была порозна. Однако со стороны периоста наблюдался слой достаточно плотной костной ткани толщиной до 200 мкм, объединенный с компактной пластинкой. На поверхности каналов остеонов и отдельных трабекулах наблюдались клетки остеобластического и остеокластического дифференциров, участвующих в перестройке костной ткани, ее компактизации в результате опорной нагрузки на конечность. В костномозговом канале в этой зоне определялись участки студенистого костного мозга с рассеянными гемопоэтическими и жировыми клетками, тяжи костной ткани ретикулофиброзного строения, отдельные минерализованные костные трабекулы, имеющие пластинчатое строение. Микрососуды были гиперемизированы и дилатированы. В некоторых сосудах обнаруживались тромбы.

Таким образом, проведенное микроскопическое исследование методом световой микроскопии показало, что при правильном сопоставлении отломков, в отсутствии их смещения, метод чрескостного остеосинтеза по Илизарову при лечении многоуровневых переломов позволяет достичь прочного костного сращения по всем уровням к окончанию периода фиксации в аппарате через 56 суток эксперимента.

Сочетание метода чрескостного остеосинтеза по Г.А. Илизарову и интрамедуллярного армирования металлической спицей при лечении полифокальных переломов способствует активизации периостального и эндостального остеогенеза, наряду с интрамедуллярным, стимуляции ангиогенеза в интрамедуллярной зоне. Это приводит к формированию полноценного костного сращения в области проксимального и дистального переломов большеберцовой кости к 56 суткам фиксации. Созданные условия способствуют уменьшению порозности компактной пластинки костных отломков и свободного срединного костного фрагмента, а также формированию более компактной кости в области сращения по сравнению с серией сравнения.

Кроме того, стабилизация дистального отломка за счет дополнительной фиксации армирующей интрамедуллярной спицей приводит к более быстрой перестройке сосудистого русла в дистальной части большеберцовой кости.

Анализ результатов гистоморфометрической оценки в группе остеосинтеза аппаратом Илизарова (ОА) показал, что на 56 сутки аппаратной фиксации в новообразованном участке компактизирующейся костной пластинки (интермедиарной части зоны сращения отломков) и на уровне костномозговой полости доля костного вещества в проксимальной зоне сращения (ПЗС) составляла 100%, что, соответственно, на 41,4% и 65,9% превышало значения показателя в аналогичных участках дистальной зоны сращения (ДЗС) и не отличалось от значений показателя в свободном фрагменте ($p \leq 0,05$). В каллусе ДЗС, ПЗС и свободного фрагмента (СФ) объемная доля костного вещества не имела значимых отличий, составляя в среднем от 65,2 % до 87,7 % (табл. 1).

Таблица 1. Объемная доля костного вещества (Vb, %) в участках оперированной большеберцовой кости кролика (медианы Me (Q50); интерквартильный интервал Q25–Q75)

| Этап эксперимента | | 56 суток внешней фиксации аппаратом | | | 35 суток после демонтажа аппарата | | |
|-----------------------------|------------------------|-------------------------------------|--------------------|----------------|-----------------------------------|-------------------|----------------|
| Группа | | ОА | ОК | р _и | ОА | ОК | р _и |
| Дистальная зона сращения | Каллус | 65,2 43,1–86,8 | 100 100–100 | 0,00395 | 90,1 79,8–100,0 | 100 100–100 | 0,14954 |
| | Компактная пластинка | 58,6 44,6–72,3 | 100 100–100 | 0,00395 | 100 100–100 | 100 100–100 | 1 |
| | Костномозговая полость | 34,1 21,0–47,1 | 100 100–100 | 0,00395 | 100 100–100 | 100 100–100 | 1 |
| Проксимальная зона сращения | Каллус | 87,7 73,8–100,0 | 86,6 73,3–100,0 | 0,81018 | 82,2 63,9–100,0 | 56,0 35,2–76,2 | 0,14954 |
| | Компактная пластинка | 100 100–100 | 100 100–100 | 1 | 100 100–100 | 100 100–100 | 1 |
| | Костномозговая полость | 100 100–100 | 100 100–100 | 1 | 100 100–100 | 100 100–100 | 1 |
| Свободный фрагмент | Каллус | 73,2 45,2–100,0 | 100 100–100 | 0,14954 | 100 100–100 | 100 100–100 | 1 |
| | Компактная пластинка | 100 100–100 | 100 100–100 | 1 | 100 100–100 | 100 100–100 | 1 |
| | Костномозговая полость | 100 100–100 | 100 100–100 | 1 | 100 100–100 | 100 100–100 | 1 |

Примечание: ОА – остеосинтез аппаратом внешней фиксации по методу Илизарова; ОК – комбинированный остеосинтез; р_и – межгрупповой уровень значимости U-критерия Манна–Уитни; жирным шрифтом выделены значения р_и ≤ 0,05.

Таблица 2. Объемная плотность костного вещества (Vbm, %) в участках оперированной большеберцовой кости кролика (Me (Q50); Q25–Q75)

| Этап эксперимента | | 56 суток внешней фиксации аппаратом | | | 35 суток после демонтажа аппарата | | |
|-----------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------|----------------|-----------------------------------|-------------------|----------------|
| Группа | | ОА | ОК | р _и | ОА | ОК | р _и |
| Дистальная зона сращения | Каллус | 67,0 60,2–72,9 | 56,1 40,7–71,4 | 0,33667 | 81,1 64,7–97,2 | 75,0 61,2–89,0 | 0,20018 |
| | Компактная пластинка | 72,6 61,8–82,8 | 66,6 50,7–82,6 | 0,42334 | 82,7 70,1–95,1 | 66,6 49,4–83,9 | 0,14954 |
| | Костномозговая полость | 59,3 41,5–77,0 | 8,4 3,6–13,6 | 0,00395 | 5,5 5,5–5,7 | 46,8 1,1–93,8 | 1 |
| Проксимальная зона сращения | Каллус | 66,1 57,0–75,1 | 77,9 73,6–81,4 | 0,81018 | 92,1 86,7–97,4 | 56,0 35,2–76,2 | 0,00395 |
| | Компактная пластинка | 85,9 79,9–92,6 | 80,1 73,0–87,3 | 1 | 82,8 70,9–94,0 | 60,2 52,0–68,3 | 0,00395 |
| | Костномозговая полость | 1,7 0,0–3,4 | 41,8 38,9–42,9 | 0,00395 | 1,3 0,4–2,4 | 6,5 3,6–9,6 | 0,00395 |
| Свободный фрагмент | Каллус | 86,5 82,5–90,6 | 90,6 87,5–93,3 | 0,14954 | 90,4 89,0–92,1 | 63,1 29,8–96,1 | 1 |
| | Компактная пластинка | 95,3 92,4–98,2 | 97,1 96,3–97,5 | 1 | 87,3 84,1–90,4 | 73,8 47,6–99,7 | 1 |
| | Костномозговая полость | 1,4 1,2–1,5 | 1,5 0,5–2,6 | 1 | 3,4 0,5–6,3 | 2,5 1,0–4,0 | 1 |

Примечание: ОА – остеосинтез аппаратом внешней фиксации по методу Илизарова; ОК – комбинированный остеосинтез; р_и – межгрупповой уровень значимости U-критерия Манна–Уитни; жирным шрифтом выделены значения р_и ≤ 0,05.

Таблица 3. Линейные размеры костных структур (L, мкм) костного вещества в участках оперированной большеберцовой кости кролика (Me (Q50); Q25–Q75)

| Этап эксперимента | | 56 сут. внешней фиксации аппаратом | | | 35 сут. после демонтажа аппарата | | |
|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------|------------------|----------------------------------|------------------|------------------|
| Группа | | ОА | ОК | р _и * | ОА | ОК | р _и * |
| Дистальная зона сращения | Каллус (высота) | 1384 624–2150 | 503 353–664 | 0,14954 | 904 318–1495 | 680 635–699 | 1 |
| | Компактная пластинка (толщина) | 1285 1198–1317 | 893 636–1152 | 0,02497 | 944 897–1007 | 895 834–957 | 0,20018 |
| | Зона сращения (высота) | 1048 799–1289 | 531 415–717 | 0,00649 | 624 255–1109 | 886 523–1225 | 0,14954 |
| Проксимальная зона сращения | Каллус (высота) | 1040 297–2175 | 117 83–162 | 0,00395 | 419 396–432 | 465 436–470 | 0,05466 |
| | Компактная пластинка (толщина) | 923 774–1113 | 1017 998–1082 | 0,63095 | 1155 1003–1410 | 1067 988–1199 | 0,26233 |
| | Зона сращения (высота) | 339 209–498 | 190 76–305 | 1 | 501 330–690 | 674 495–845 | 0,14954 |
| Свободный фрагмент | Каллус (высота) | 456 108–859 | 150 126–169 | 1 | 219 216–222 | 219 217–226 | 0,42334 |
| | Компактная пластинка (толщина) | 1198 1103–1407 | 1080 1053–1102 | 0,02497 | 1007 987–1129 | 868 786–959 | 0,00648 |

Примечание: ОА – остеосинтез аппаратом внешней фиксации по методу Илизарова; ОК – комбинированный остеосинтез; р_и – межгрупповой уровень значимости U-критерия Манна–Уитни; жирным шрифтом выделены значения р ≤ 0,05.

Высота каллуса варьировала в пределах 0,5–2 мм, не отличаясь на уровне зон сращения отломков и была снижена на поверхности свободного костного фрагмента. Толщина компактной костной пластинки исследуемых зон менялась в пределах 0,8–1,3 мм. Высота проксимальной зоны сращения более чем двукратно превышала высоту ДЗС, составляя в среднем 1,2 мм и 0,45 мм соответственно (р ≤ 0,05) (табл. 3).

Через 35 суток после демонтажа аппарата в группе ОА гистоморфометрические показатели костных структур в составе каллуса и новообразованных участков компактной пластинки зон сращения отломков выравнивались. Доля костного вещества достигала 100%, а его плотность составляла 80–95% на обоих уровнях заживления сегментарного перелома. На уровне костномозговой полости доля губчатого костного вещества также составляла 100%, его объемная плотность была низкой, составляя около 5,5% в ДЗС и 1,3% – в ПЗС. Vbm на уровне костномозговой полости СФ не отличалась от значения показателей ДЗС и ПЗС, находясь в пределах 1,3–5,5%. В ДЗС плотность губчатого костного вещества снижалась десятикратно по сравнению с предыдущим сроком эксперимента (р ≤ 0,05) (табл. 1 и 2).

Высота периостальной костной мозоли снижалась на всех уровнях, составляя в среднем 0,2–0,9 мм. Толщина компактной пластинки в исследуемых участках варьировала в пределах 0,9–1,1 мм. Средняя высота ПЗС и ДЗС не имела значимых отличий, составляя 0,5–0,6 мм, однако разброс значений был выше в ДЗС (табл. 3).

В группе ОК через 56 суток периода аппаратной фиксации во всех исследованных участках, за исключением каллуса ПЗС, доля костного вещества составляла 100%. В каллусе ПЗС Vb варьировала от 73% до 100% (табл. 1).

Объемная плотность костного вещества каллуса и компактной пластинки составляла 90–97% на уровне свободного фрагмента, тогда как в ПЗС и ДЗС она была ниже на 10–30%. На уровне костномозговой полости Vbm была минимальной в СФ (1,5%) и значимо выше в ДЗС (около 8%) и ПЗС (около 40%) (р ≤ 0,05) (табл. 2).

Средняя высота каллуса не превышала 0,5 мм во всех исследованных участках кости. Толщина компактной костной пластинки не имела значимых отличий в зависимости от уровня исследования, составляя около 1 мм. Высота ПЗС была значимо ниже таковой ДЗС, средние значения составляли 0,2 мм и 0,5 мм соответственно (р ≤ 0,05) (табл. 3).

Через 35 суток после демонтажа аппарата доля костного вещества во всех исследованных участках составляла 100% (табл. 1). Его объемная плотность в каллусе и компактной костной пластинке была выше на уровне ДЗС и свободного фрагмента, варьируя от 63% до 75%. На уровне ПЗС значения показателя были ниже, составляя 56–60%, однако указанные различия не были статистически значимыми ($p \leq 0,05$). На уровне костномозговой полости наибольшее среднее значение 47% отмечали в ДЗС, в ПЗС и СФ значения V_{bm} были кратно ниже. Однако отмеченные различия не были статистически достоверными из-за большого разброса значений V_{bm} в ДЗС (табл. 2).

Высота периостальной костной мозоли не превышала 0,7 мм на всех уровнях и была значительно ниже на уровне СФ, составляя в среднем 0,2 мм ($p \leq 0,05$). Толщина компактной пластинки в исследуемых участках значительно не изменялась в сравнении с предыдущим сроком эксперимента, варьируя в пределах 0,9–1,1 мм. Средняя высота ДЗС и ПЗС также не менялась и значительно не отличалась, составляя в среднем 0,5–0,6 мм (табл. 3).

Сравнительный анализ данных двух экспериментальных групп показал, что через 56 суток периода аппаратной фиксации объемная доля костного вещества V_b в каллусе, новообразованном участке компактной пластинки и костномозговой полости на уровне дистальной зоны сращения у животных группы ОК значительно превышала аналогичные показатели группы ОА – на 34,8%, 41,4% и 65,9% соответственно. На уровне проксимальной зоны сращения и свободного фрагмента статистические различия по данному параметру отсутствовали.

Заключение

Применение комбинированного остеосинтеза создает более благоприятные условия для формирования костного сращения отломков в дистальной части сегментарного перелома большеберцовой кости в периоде аппаратной фиксации. В проксимальной зоне сращения отломков, при равных объемных долях костного вещества, применение комбинированного остеосинтеза обуславливает его более высокую объемную плотность на уровне костномозговой полости.

В безаппаратном периоде межгрупповые различия объемной доли и плотности костного вещества в дистальной части зоны сращения нивелируются в результате адаптационной перестройки новообразованных участков кости. В проксимальной части зоны сращения значения, при равных значениях объемной доли,

показатели плотности костного вещества изменяются разнонаправленно – в условиях остеосинтеза аппаратом плотность костного вещества возрастает, а в условиях комбинированного остеосинтеза снижается. Данное наблюдение свидетельствует о различии механо-биологических условий, предположительно – меньшей механической стабильности в проксимальной зоне заживления сегментарного перелома после демонтажа устройства внешнего остеосинтеза без дополнительной интрамедуллярной фиксации.

Применение комбинированного остеосинтеза обеспечивает более точное сопоставление костных отломков в периоде аппаратной фиксации, о чем объективно свидетельствует снижение высоты зон сращения сегментарного перелома, статистически значимое в его дистальной части. При этом в обеих группах эксперимента высота зон сращения не превышает 2 мм, что находится в пределах оптимальных значений данного параметра оценки. Косвенным признаком стабильного сопоставления костных отломков в условиях комбинированного остеосинтеза является достоверное снижение высоты каллуса на всем протяжении оперированного участка, а также толщины компактной пластинки свободного костного фрагмента.

Приведенные выше данные подтверждаются и результатами гистоморфометрического анализа объемной доли костного вещества, последние выявили, что применение комбинированного остеосинтеза создает более благоприятные условия для формирования костного сращения отломков в дистальной части сегментарного перелома большеберцовой кости в периоде аппаратной фиксации. В проксимальной зоне сращения отломков, при равных объемных долях костного вещества, применение комбинированного остеосинтеза обуславливает его более высокую объемную плотность на уровне костномозговой полости.

В безаппаратном периоде межгрупповые различия объемной доли и плотности костного вещества в дистальной части зоны сращения нивелируются в результате адаптационной перестройки новообразованных участков кости. В проксимальной части зоны сращения значения, при равных значениях объемной доли, показатели плотности костного вещества изменяются разнонаправленно – в условиях остеосинтеза аппаратом плотность костного вещества возрастает, а в условиях комбинированного остеосинтеза снижается. Данное наблюдение свидетельствует о различии механо-биологических условий, предположительно – меньшей механической

стабильности в проксимальной зоне заживления сегментарного перелома после демонтажа устройства внешнего остеосинтеза без дополнительной интрамедуллярной фиксации.

Применение комбинированного остеосинтеза обеспечивает более точное сопоставление костных отломков в периоде аппаратной фиксации, о чем объективно свидетельствует снижение высоты зон сращения сегментарного перелома, статистически значимое в его дистальной части. При этом в обеих группах эксперимента высота зон сращения не превышает 2 мм, что находится в пределах оптимальных значений данного параметра оценки. Косвенным признаком стабильного сопоставления костных отломков в условиях комбинированного остеосинтеза является достоверное снижение высоты каллуса на всем протяжении оперированного участка, а также толщины компактной пластинки свободного костного фрагмента.

Отсутствие объективных различий в значениях прочих показателей гистоморфометрической оценки свидетельствует о принципиальной схожести условий протекания репаративного процесса и реактивной посттравматической реорганизации костной ткани в обеих группах эксперимента.

Литература

1. Айвазян В.П., Тумян Г.А., Оганян В.Э. Некоторые особенности лечения множественных диафизарных переломов длинных трубчатых костей нижних конечностей. Медицинский Вестник Эребуни. 2010;3(43):35-39 [Ayvazyan V.P., Tumyan G.A., Oganyan V.E. Nekotorye osobennosti lecheniya mnozhestvennykh diafizarnykh perelomov dlinnykh trubchatykh kostej nizhnih konechnostej. Medicinskij Vestnik Erebuti. 2010;3(43):35-39. In Russian].
2. Ахтямов И.Ф., Шакирова Ф.В., Ключкина Ю.А. и др. Анализ регенеративного процесса в области перелома большеберцовой кости (экспериментальное исследование). Травматология и ортопедия России. 2016;(1):100-107 [Ahtyamov I.F., Shakirova F.V., Klyushkina Yu.A. i dr. Analiz regenerativnogo processa v oblasti pereloma bol'shebercовой kosti (eksperimental'noe issledovanie). Travmatologiya i ortopediya Rossii. 2016;(1):100-107. In Russian].
3. Барабаш А.П., Русанов А.Г., Барабаш Ю.А., Алфимов Р.А. Технология лечения диафизарных переломов костей голени с учётом биомеханического влияния на фазы репаративного остеогенеза. Саратовский научно-медицинский журнал. 2010;6(4):829-834 [Barabash A.P., Rusanov A.G., Barabash Yu.A., Alfimov R.A. Tehnologiya lecheniya diafizarnykh perelomov kostej
- goleni s uchyotom biomehanicheskimi vliyaniem na fazy reparativnogo osteogeneza. Saratovskij nauchno-medicinskij zhurnal. 2010; 6(4): 829-834. In Russian].
4. Бекчанов С.З. и др. Роль компьютерной томографии в диагностике и лечении оскольчатых и двойных переломов длинных трубчатых костей. Журнал теоретической и клинической медицины. Ташкент, 2008; (2):53-57 [Bekchanov S.Z. i dr. Rol' komp'yuternoj tomografii v diagnostike i lechenii oskol'chatykh i dvojnykh perelomov dlinnykh trubchatykh kostej. Zhurnal teoreticheskoy i klinicheskoy mediciny. Tashkent, 2008;(2):53-57. In Russian].
5. Бекчанов С.З., Азизов М.Ж., Шакиров Э.О., Валиев Э.Ю. Подход к рентгенологической диагностике двойных переломов длинных трубчатых костей. Бюллетень ассоциации врачей Узбекистана. Ташкент, 2005;(4):76-78 [Bekchanov S.Z., Azizov M.Zh., Shakirov E.O., Valiev E.Yu. Podhod k rentgenologicheskoy diagnostike dvojnykh perelomov dlinnykh trubchatykh kostej. Byulleten' associacii vrachej Uzbekistana. Tashkent, 2005; (4):76-78. In Russian].
6. Бекчанов С.З., Валиев Э.Ю., Сайфуллаев О.Э., Миржалилов Ф.Х. Современные аспекты диагностики и лечения полифокальных диафизарных переломов длинных костей конечностей. Вестник экстренной медицины. Ташкент, 2010;(1):92-94 [Bekchanov S.Z., Valiev E.Yu., Sayfullaev O.E., Mirzhalilov F.H. Sovremennye aspekty diagnostiki i lecheniya polifokal'nykh diafizarnykh perelomov dlinnykh kostej konechnostej. Vestnik ekstrennoy mediciny. Tashkent, 2010;(1):92-94. In Russian].
7. Бекчанов С.З., Валиев Э.Ю., Сайфуллаев О.Э., Миржалилов Ф.Х. Ошибки и осложнения в лечении оскольчатых и полифокальных переломов костей голени. Журнал теоретической и клинической медицины. Ташкент, 2009;(1):53-56 [Bekchanov S.Z., Valiev E.Yu., Sayfullaev O.E., Mirzhalilov F.H. Oshibki i oslozhneniya v lechenii oskol'chatykh i polifokal'nykh perelomov kostej goleni. Zhurnal teoreticheskoy i klinicheskoy mediciny. Tashkent, 2009;(1):53-56. In Russian].
8. Гордиенко И.И., Цап Н.А., Борисов С.А., Валамина И.Е. Репарация костной ткани в зоне консолидации открытого перелома трубчатой кости лабораторного животного (экспериментальное исследование). Детская хирургия. 2020; 24(2):96-100 [Gordienko I.I., Tsap N.A., Borisov S.A., Valamina I.E. Reparatsiya kostnoy tkani v zone konsolidatsii otkrytogo pereloma trubchatoy kosti laboratornogo zhivotnogo. Eksperimental'noe issledovanie. Detskaya khirurgiya. 2020;24(2):96-100. In Russian].
9. Городниченко А.И., Гусейнов Т.Ш., Усков О.Н. Малоинвазивное хирургическое лечение би-

- фокальных переломов плечевой кости. Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2014;(1):111–114 [Gorodnichenko A.I., Gusejnov T.Sh., Uskov O.N. Maloinvazivnoe hirurgicheskoe lechenie bifokal'nyh perelomov plechevoj kosti. Kremlevskaya medicina. Klinicheskij vestnik. 2014;(1):111–114. In Russian].
10. Джамил А. Метаболические аспекты этиологии дисрегенерации и оптимизации репаративного остеогенеза при переломах длинных костей (клиническое исследование). Дис. канд. мед. наук. Саратов, 2012 [Dzhamil A. Metabolicheskie aspekty etiologii disregeneracii i optimizacii reparativnogo osteogeneza pri perelomah dlinnyh kostej (klinicheskoe issledovanie). Dis. kand. med. nauk. Saratov, 2012. In Russian].
 11. Дьячкова Г.В., Степанов Р.В., Суходолова Л.В. и др. Анализ репаративного костеобразования при лечении больных с переломами длинных трубчатых костей по данным компьютерной томографии и двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии. Вестник новых медицинских технологий. 2006;(3):74–78 [D'yachkova G.V., Stepanov R.V., Suhodolova L.V. i dr. Analiz reparativnogo kosteoobrazovaniya pri lechenii bol'nyh s perelomami dlinnyh trubchatykh kostej po dannym komp'yuternoj tomografii i dvuh energeticheskoy rentgenovskoj absorbcionometrii. Vestnik novyh medicinskih tekhnologij. 2006;(3):74–78. In Russian].
 12. Каплан А.В., Лирцман В.М. Сравнительная оценка и показания к различным методам остеосинтеза при закрытых переломах костей конечностей. Ортопедия, травматология и протезирование. 1975;(10):1–5 [Kaplan A.V., Lircman V.M. Sravnitel'naya ocenka i pokazaniya k razlichnym metodam osteosinteza pri zakrytyh perelomah kostej konechnostej. Ortopediya, travmatologiya i protezirovanie. 1975;(10):1–5. In Russian].
 13. Карасев А.Г., Бойчук С.П., Мухтяев С.В. Способ лечения двойного перелома бедренной кости с расщеплением центрального отломка. Геней ортопедии. 2000; (2): 90–92 [Karasev A.G., Bojchuk S.P., Muhtyaev S.V. Spособ lecheniya dvojnogo pereloma bedrennoj kosti s rasshchepleniem central'nogo otlomka. Genij ortopedii. 2000;(2):90–92. In Russian].
 14. Литвишко В.А. Лечение оскольчатых переломов длинных костей конечностей аппаратами внешней фиксации. Ортопедия, травматология и протезирование. 2016; (4):40–46 [Litvishko V.A. Lechenie oskol'chatykh perelomov dlinnyh kostej konechnostej apparatami vneshnej fiksacii. Ortopediya, travmatologiya i protezirovanie. 2016; (4):40–46. In Russian].
 15. Луньков А.Е. Индивидуальные особенности пористости трубчатых костей человека. Морфология. 2011; 140(4):57–60 [Lun'kov A.E. Individual'nye osobennosti poristosti trubchatykh kostej cheloveka. Morfologiya. 2011; 140(4):57–60. In Russian].
 16. Максименко В.И. Хирургическое лечение закрытых оскольчатых, многооскольчатых, фрагментарных переломов диафиза бедренной кости. Дис. канд. мед. наук. М., 2006 [Maksimenko V.I. Hirurgicheskoe lechenie zakrytykh oskol'chatykh, mnogoskol'chatykh, fragmentarnykh perelomov diafiza bedrennoj kosti. Dis. kand. med. nauk. M., 2006. In Russian].
 17. Панов А.А., Копысова В.А., Каплун В.А. и др. Результаты остеосинтеза оскольчатых переломов длинных трубчатых костей. Геней ортопедии. 2015; (4):10–16 [Panov A.A., Kopysova V.A., Kaplun V.A. i dr. Rezul'taty osteosinteza oskol'chatykh perelomov dlinnyh trubchatykh kostej. Genij ortopedii. 2015; (4):10–16. In Russian].
 18. Писарев В.В., Олейник А.В., Тихомолова Э.В., Васин И.В. Ультразвуковая диагностика течения репаративного процесса при оперативном лечении переломов костей голени. Вестник Ивановской медицинской академии. 2013; 18(3):35–39 [Pisarev V.V., Olejnik A.V., Tihomolova E.V., Vasin I.V. Ul'trazvukovaya diagnostika techeniya reparativnogo processa pri operativnom lechenii perelomov kostej goleni. Vestnik Ivanovskoj medicinskoj akademii. 2013; 18(3):35–39. In Russian].
 19. Селицкий А.В. Комплексное лечение сложных сегментарных и многооскольчатых переломов большеберцовой кости. Дис. канд. мед. наук. Минск, 2021 [Selickij A.V. Kompleksnoe lechenie slozhnykh segmentarnykh i mnogoskol'chatykh perelomov bol'shebercovoju kosti. Dis. kand. med. nauk. Minsk, 2021. In Russian].
 20. Соколов В.А., Бондаренко А.В., Бялик Е.И. и др. Сравнительная оценка методов остеосинтеза при полисегментарных переломах нижних конечностей. Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2006; (4):3–8 [Sokolov V.A., Bondarenko A.V., Byalik E.I. i dr. Sravnitel'naya ocenka metodov osteosinteza pri polisegmentarnykh perelomah nizhnih konechnostej. Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova. 2006; (4):3–8. In Russian].
 21. Сувалян М.А. Лечение оскольчатых диафизарных переломов бедренной кости методом закрытого блокирующего интрамедуллярного остеосинтеза. Вестник травматологии и ортопедии. 2002; (1):40–43 [Suvalyan M.A. Lechenie oskol'chatykh diafizarnykh perelomov bedrennoj kosti metodom zakrytogo blokiryuyushchego intramedullyarnogo osteosinteza. Vestnik travmatologii i ortopedii. 2002; (1):40–43. In Russian].
 22. Чарчян А.М. Закрытый блокирующий интрамедуллярный остеосинтез диафизарных переломов бедренной и большеберцовой ко-

- стей без рассверливания костномозгового канала. Дис. канд. мед. наук. М., 2002 [Charchyan A.M. Zakrytyj blokiryuyushchij intramedullyarnyj osteosintez diafizarnyh perelomov bedrennoj i bol'shebercovoj kostej bez rassverlivaniya kostnomozgovogo kanala. Dis. kand. med. nauk. M., 2002. In Russian].
23. Швед С.И., Мартель И.И., Самусенко Д.В. Особенности остеогенеза в зависимости от расположения промежуточного фрагмента при двойных переломах плеча. Гений ортопедии. 2009; (2):90–95 [Shved S.I., Martel' I.I., Samusenko D.V. Osobennosti osteogeneza v zavisimosti ot raspolozheniya promezhutochnogo fragmenta pri dvojnyh perelomah plecha. Genij ortopedii. 2009; (2):90–95. In Russian].
24. Шпиняк С.П. Хирургическое лечение диафизарных оскольчатых переломов бедренной кости (экспериментально-клиническое исследование). Дис. канд. мед. наук. Саратов, 2013 [Shpinyak S.P. Hirurgicheskoe lecheniya diafizarnyh oskol'chatyh perelomov bedrennoj kosti (eksperimental'no-klinicheskoe issledovanie). Dis. kand. med. nauk. Saratov, 2013. In Russian].
25. Штейнле А.В., Дудузинский К.Ю., Ефтеев Л.А. и др. Кровообращение трубчатых костей и возможности его коррекции при огнестрельных переломах. Сибирский медицинский журнал. 2009; (1):125–134 [Shtejnle A.V., Duduzinskij K.Yu., Efeev L.A. i dr. Krovoobrashchenie trubchatyh kostej i vozmozhnosti ego korrekcii pri ognestrel'nyh perelomah. Sibirskij medicinskij zhurnal. 2009; (1):125–134. In Russian].
26. Knopp W., Schmidtman U., Stunner K.M. Bridging plate osteosynthesis in simple femoral fractures a minimally invasive method in polytrauma. Langenbecks Arch. Chir. Suppl. Kongressbd. 1996; 113:951–953.
27. Sterk J., Willy C., Gerngross H. Femur osteosynthesis in the polytrauma patient – considerations for reasonable surgery time frame from the viewpoint of military service medical treatment. Langenbecks Arch. Chir. Sup. Kongress. 1997; 14:1005–1010.
28. Van Riet Y.E., Van Der Werken C., Marti R.K. Subfascial plate fixation of comminuted diaphyseal femoral fractures: a report of three cases utilizing biological osteosynthesis. J. Orthop. Trauma. 1997. Jan; 11(1): 57–60.

UZUN SUYAKLARNING POLIFOKAL SINISHLARIDA ORALIQ FRAGMENTDAGI OSTEOREPARATSIYA JARAYONI KECHISHINING MORFOLOGIK KO'RINISHINI EKSPERIMENTDA O'RGANISH

E.Y. VALIYEV^{1,2}, A.A. SAYPIYEV³, E.N. OVCHINNIKOV⁴,
O.V. DURYAGINA⁴, O.E. VALIYEV²

¹Respublika shoshilinch tibbiy yordam ilmiy markazi, Toshkent, O'zbekiston

²Tibbiyot xodimlarining kasbiy malakasini oshirish markazi, Toshkent, O'zbekiston

³Respublika shoshilinch tibbiy yordam ilmiy markazi Navoiy filiali, O'zbekiston,

⁴FGBU "Akademik G.A. Ilizarov nomidagi Travmatologiya va ortopediya milliy tibbiy ilmiy-tadqiqot Rossiya Sog'liqni saqlash vazirligi, Kurgan, Rossiya Federatsiyasi

Maqsad. Uzun suyaklarning polifokal sinishlarini davolashda reparativ osteogenezni eksperimentda boldir suyaklari sinishlari misolida o'rganish.

Material va uslublar. Eksperimental tadqiqotni quyonlarda katta boldir suyagi diafizining pastki uchligida ko'ndalang segmentar siniqni eksperimental modelida o'tkazildi. Eksperimental tadqiqotning tahlili Rossiya Federatsiyasi Kurgan shahridagi akademik G.A. Ilizarov nomidagi Travmatologiya va ortopediya milliy tibbiyot tadqiqot markazi bilan hamkorlikda o'tkazildi. Tadqiqot guruhlarida katta boldir suyagida polifokal siniq modeli yaratilib, Ilizarov apparati yordamida siniq fiksasiya qilindi. Eksperimental tadqiqot muddatlari: fiksatsiyaning 28 va 56-sutkasi, apparat demontajidan keyin 35-sutka. Eksperimental tadqiqotning umumiy mud-dati 91 sutka.

Natijalar. Suyak bo'laklarini to'g'ri joylashtirish hamda ularning siljishiga yo'l qo'ymaslik orqali fiksatsiya muddatining oxirida suyak bo'laklarining mustahkam bitishiga erishish mumkin. Uzun suyaklarning polifokal sinishlarida Ilizarov uslubi bilan intramedullyar fiksatsiyani birgalikda qo'llash periostal va endoostal osteogenezni kuchaytirishga hamda intramedullyar zonada angiogenez jarayonini faollanishiga zamin yaratadi. Bu o'z navbatida fiksatsiyaning 56-sutkasida, katta boldir suyagining proksimal va distal siniq sohalarida bitish jarayoning to'liq rivojlani-

shiga olib keladi hamda yaratilgan sharoit qiyosiy guruhdagi jarayonga nisbatan suyak bo'laklari va oraliq fragmentdagi kompakt plastinka porozligining kamayishiga yordam beradi. Bundan tashqari, distal siniq bo'lagini qo'shimcha intramedullyar fiksatsiyalash orqali stabilizatsiya qilish katta boldir suyagining distal qismida qon tomirlarning tez qayta tiklanishiga olib keladi.

Kalit so'zlar: polifokal sinishlar, o'choqdan tashqari osteosintez, oraliq fragment, reparativ osteogenez.

Сведения об авторах:

Валиев Эркин Юлдашевич – доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела травматологии РНЦЭМП.
ORCID: 0000-0003-4130-7810

Сайпиев Азизбек Акбарович – травматолог-ортопед, врач-ординатор отделения сочетанных и осложнённых травм Навоийского филиала РНЦЭМП, докторант базовой докторантуры Бухарского государственного медицинского института.
E-mail: med_s.a.a@mail.ru

Овчинников Евгений Николаевич – кандидат биологических наук, заместитель директора по научной работе ФГБУ «НМИЦ ТО им. академика Г.А. Илизарова» МЗ РФ.
E-mail: Omu00@list.ru

Дюрягина Ольга Владимировна – кандидат ветеринарных наук, заведующая экспериментально-морфологической лабораторией ФГБУ «НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России.
E-mail: diuriagina@mail.ru

Валиев Одил Эркинович – кандидат медицинских наук, заведующий отделением взрослой ортопедии РСНПЦТиО, ассистент кафедры травматологии и ортопедии.

Поступила в редакцию: 31.01.25.

Information about authors:

Erkin Yuldashevich Valiyev – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Traumatology Department at the Republican Research Center of Emergency Medicine (RRCM).
ORCID: 0000-0003-4130-7810.

Azizbek Akbarovich Saipiev – Traumatologist-orthopedist, resident doctor at the Department of Combined and Complicated Injuries, Navoi Branch of RRCM, doctoral student of the Basic Doctoral Program at Bukhara State Medical Institute.
E-mail: med_s.a.a@mail.ru.

Evgeny Nikolayevich Ovchinnikov – Candidate of Biological Sciences, Deputy Director for Scientific Work at the Federal State Budgetary Institution "National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after Academician G.A. Ilizarov" of the Ministry of Health of the Russian Federation.
E-mail: Omu00@list.ru.

Olga Vladimirovna Dyuryagina – Candidate of Veterinary Sciences, Head of the Experimental and Morphological Laboratory at the Federal State Budgetary Institution "National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics named after Academician G.A. Ilizarov" of the Ministry of Health of Russia.
E-mail: diuriagina@mail.ru.

Odil Erkinovich Valiyev – Candidate of Medical Sciences, Head of the Adult Orthopedics Department at the Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Traumatology and Orthopedics (RSSPMCTO), Assistant Professor at the Department of Traumatology and Orthopedics.

Received: 31.01.25.