

Экспериментальная апробация комбинированного остеосинтеза при удлинении бедренной кости

М.А. Степанов¹, Н.И. Антонов¹, Д.Ю. Борзунов^{1,2}

¹ ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России

Ул. М. Ульяновой, д. 6, г. Курган, 640014, Россия

² ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России

Ул. Одесская, д. 54, г. Тюмень, 625023, Россия

Реферат

Устранение врожденного укорочения нижней конечности по-прежнему остается сложной и далеко не решенной ортопедической задачей, требующей как совершенствования технологий остеосинтеза, так и внесения необходимых корректив в тактику лечебно-реабилитационных мероприятий.

Цель исследования – экспериментально апробировать способ комбинированного остеосинтеза для удлинения бедра с применением аппарата внешней фиксации и наkostной пластины.

Материал и методы. Удлинение бедренной кости выполнено у 6 беспородных собак. Средний возраст животных составил $1,5 \pm 0,3$ года, вес – 20 ± 5 кг, длина бедренной кости – 22 ± 2 см. Животным под общим наркозом на правую бедренную кость устанавливали аппарат внешней фиксации из двух опор и наkostную пластину оригинального дизайна из титанового сплава. Удлинение осуществляли в ручном режиме с темпом 1 мм в сутки за 4 приема на величину 10% от исходной длины сегмента. Аппарат внешней фиксации демонтировали в день окончания distraction после блокирования пластины.

Рентгенографические исследования выполняли в день операции, через 7, 14 и 25 суток с начала distraction, а также через 14, 30, 60 и 90 суток после окончания distraction и демонтажа аппарата. Три собаки были выведены из эксперимента на 30-е сутки фиксации, остальные три собаки – через 90 суток. После эвтаназии были проведено патологоанатомическое исследование органокомплекса бедра и соприкасающихся с пластиной тканей.

Результаты. Собаки пользовались оперированной конечностью в процессе всего периода удлинения. Первые рентгенологические признаки distractionного остеогенеза визуализировали на 7-е сутки удлинения. К концу distraction на 25-е сутки во всех наблюдениях тени костных регенератов имели продольно исчерченную структуру. Срединная зона просветления размером 1–5 мм располагалась как по диагонали, так и поперек регенерата либо была прерывистой. Через 60 суток после фиксации на рентгенограммах наблюдали регенерат с гомогенной структурой. Индекс внешнего остеосинтеза составил $13,9 \pm 1,5$ дн/см ($p \leq 0,05$). Во время эксперимента мы не наблюдали ни одного случая поломки металлоконструкции, винта или их деформации.

Вывод. Комбинированный остеосинтез, предполагающий использование спице-стержневого аппарата внешней фиксации и оригинальной наkostной пластины при удлинении бедра, уменьшает травмирующий фактор элементов чрескостной наружной фиксации на смежные суставы и мышцы бедра, что позволяет снизить риски атрофии мышц и формирования стойких контрактур суставов, а также восстановить функцию поврежденной конечности в более ранние сроки.

Ключевые слова: врожденное укорочение нижней конечности, удлинение бедренной кости, комбинированный остеосинтез, метод Илизарова, наkostный остеосинтез.

DOI: 10.21823/2311-2905-2017-23-3-95-102.

Stepanov M.A., Antonov N.I., Borzunov D.Yu. Экспериментальная апробация комбинированного остеосинтеза при удлинении бедренной кости. *Травматология и ортопедия России*. 2017;23(3):95-102. DOI: 10.21823/2311-2905-2017-23-3-95-102.

Cite as: Stepanov M.A., Antonov N.I., Borzunov D.Yu. [Experimental Approval of Combined Fixation for Femur Lengthening]. *Traumatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2017;23(3):95-102. (in Russian). DOI: 10.21823/2311-2905-2017-23-3-95-102.

Антонов Николай Иванович. Ул. М. Ульяновой, д. 6, г. Курган, 640014, Россия / Nikolay I. Antonov. 54, ul. Odesskaya, Tyumen, 625023, Russian Federation; e-mail: aniv-niko@mail.ru

Рукопись поступила/Received: 03.08.2017. Принята в печать/Accepted for publication: 28.08.2017.

Experimental Approval of Combined Fixation for Femur Lengthening

M.A. Stepanov¹, N.I. Antonov¹, D.Yu. Borzunov^{1,2}

¹ Ilizarov Russian Scientific Center Restorative Traumatology and Orthopedics
6, ul. M. Ulyanova, Kurgan, 640014, Russian Federation

² Tyumen State Medical University
54, ul. Odesskaya, Tyumen, 625023, Russian Federation

Abstract

Elimination of congenital shortening of lower limb still remains a complex and unsolved orthopaedic task which requires an improved fixation technique as well as adjusted tactics of treatment and rehabilitation procedures.

Purpose of the study – experimental approval of femur lengthening technique by external fixation with Ilizarov apparatus and internal fixation by plate.

Materials and methods. Femur lengthening was performed in 6 mongrel dogs. Average animal age was $1,5 \pm 0,3$ years, average weight – 20 ± 5 kg, femur length – 22 ± 2 sm. External apparatus with two supports and a titanium plate of an original design were applied under general anesthesia on the right femur of animals. Lengthening was performed manually at a rate of 1 mm per day in 4 stages at a distance of 10% from initial segment length. External apparatus was removed on the last day of distraction after locking the plate. X-ray examination was done on the day of surgery, in 7, 14 and 25 days from the onset of distraction as well as in 14, 30, 60 and 90 days after completion of distraction and removal of external apparatus. Three animals were taken out of experiment in 30 days of fixation, remaining three animals – in 90 days. After euthanasia the authors performed autopsy of the organic femur complex and tissues contacting the plate.

Results. The use of operated limb was not restricted during the whole distraction period. The authors observed first roentgenological signs of distraction osteogenesis on 7th day of lengthening. By the end of distraction period, at 25th day, shadows of regenerates demonstrated longitudinal striated structures in all cases. Median lucency area of 1–5 mm was located diagonally and across the regenerate or was intermittent. In 60 days of fixation X-rays demonstrated homogeneous regenerate. External fixation index was $13,9 \pm 1,5$ days/sm ($p \leq 0,05$). The authors observed no cases of implants fracture or deformity during the experiment.

Conclusion. Application of the developed plate in combination with external apparatus demonstrated high efficiency for femur lengthening in experiment study.

Keywords: congenital shortening of lower limb, femur lengthening, plate fixation, Ilizarov method, plate osteosynthesis.

DOI: 10.21823/2311-2905-2017-23-3-95-102.

Competing interests: the authors declare that they have no competing interests.

Funding: the authors have no support or funding to report.

Введение

Устранение врожденного укорочения нижней конечности по-прежнему остается сложной и далеко не решенной ортопедической задачей, требующей как совершенствования технологий остеосинтеза, так и внесения необходимых корректив в тактику лечебно-реабилитационных мероприятий [1]. Основная проблема, возникающая при удлинении бедра – это ограничение функции коленного сустава. Факторами, влияющими на нее, являются этиология укорочения, характер оперативного вмешательства, величина удлинения и длительность остеосинтеза [2, 3]. Использование внешней фиксации для удлинения бедренной кости сопряжено с необходимостью длительного ношения аппарата, что снижает качество жизни пациента, а также возможностью прорезывания мягких тканей в области спиц, воспалением, контрактурами смежных суставов и т. д. [4–8].

Одновременное применение внешней фиксации и интрамедуллярного остеосинтеза, ко-

торое стали использовать с конца XX в., позволило значительно сократить индекс внешней фиксации и повысить качество жизни больных во время лечения, ускорив процесс реабилитации [9–19].

Позже для удлинения костей конечностей начали применять накостный остеосинтез пластинами в сочетании с внешней фиксацией, что позволило сократить период нахождения пациента в аппарате и уменьшить риск осложнений [9, 20–26]. В 2003 г. В.М. Шаповалов предложил использовать для удлинения бедра пластину с продольным пазом в комбинации с внешней фиксацией (патент РФ на изобретение № 2211001).

Однако некоторые из предложенных методик имеют недостатки, обусловленные несовершенной конструкцией накостных пластин. Чаще всего используют обычные пластины с большим количеством отверстий без продольного паза, что затрудняет наблюдение за конструкцией и ее фиксацию к дистальному

отломку после удлинения конечности. Нередко происходят переломы пластины после снятия аппарата. У детей с открытыми зонами роста нецелесообразно имплантировать интрамедуллярный штифт в костномозговой канал через ростковые зоны, поэтому для них предпочтительно применение описанной методики [23–25].

Цель исследования — экспериментально апробировать способ комбинированного остеосинтеза для удлинения бедра с применением аппарата внешней фиксации и накостной пластины.

Материал и методы

Было прооперировано шесть беспородных собак. Средний возраст животных составил $1,5 \pm 0,3$ года, вес — 20 ± 5 кг, длина бедренной кости — 22 ± 2 см. В условиях операционной собакам под общим наркозом на правую бедренную кость устанавливали аппарат внешней фиксации из двух опор и накостную пластину оригинального дизайна из титанового сплава (заявка № 2017122105 РФ на полезную модель от 22.06.2017). В верхней части пластины имелись три отверстия для фиксации ее винтами к проксимальному отделу бедренной кости. Срединная часть металлоконструкции была цельная. В дистальной части пластины имелись продольный сквозной паз, занимающий $1/3$ ее длины, для осуществления дистракции и дополнительное отверстие для фиксации к дистальному отделу бедренной кости. Поперечный профиль пластины был выполнен в виде швеллера, что придавало ей дополнительную прочность и ограничивало площадь контакта с костью. Пластина имела плавную вогнутость, повторяющую анатомическую кривизну бедренной кости собаки, что позволяло добиться адекватного контакта пластины с костью (рис. 1 а).

Всем собакам осуществляли остеотомию пилкой Джигли на уровне средней трети бедра. Пластину устанавливали на латеральной поверхности бедренной кости, производя отслойку мягких тканей. Верхнюю часть пластины фиксировали к проксимальному отломку тремя винтами в предварительно просверленные отверстия в кости. Нижнюю часть пластины фиксировали к дистальному отломку одним винтом, введенным в верхнюю часть паза, и неплотно затягивали (рис. 1).

Дистракцию начинали на 7-й день после операции с темпом 1 мм за 4 приема в сутки в течение 25 дней. Удлинение было выполнено

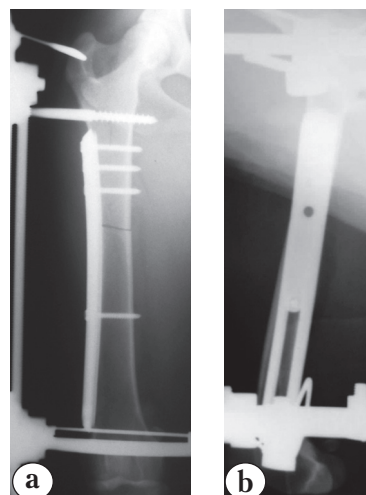


Рис. 1. Остеосинтез бедренной кости аппаратом внешней фиксации и накостной пластиной: рентгенограммы в прямой (а) и боковой (б) проекциях в день операции

Fig. 1. Femoral fixation by external apparatus and a plate: AP (a) and lateral (b) x-ray views on the day of surgery

на 10% от общей длины кости, что составляло в среднем 23 мм. В день окончания удлинения нижнюю часть пластины фиксировали тремя винтами, введенными в паз пластины, а аппарат Илизарова демонтировали. У трех собак фиксация пластиной продолжалась 30 суток и у еще трех собак — в течение 90 суток. Хирургические вмешательства и эвтаназии были выполнены в соответствии с «Правилам проведения работ с использованием экспериментальных животных» (приказ № 755 МЗ СССР от 12.08.1977) и «Европейской конвенцией по защите позвоночных животных, используемых в экспериментальных и других научных целях» (Страсбург, 1986). На проведение эксперимента было получено разрешение этического комитета ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова».

Рентгенограммы были выполнены на аппарате Toshiba Rotanode (Япония) в прямой и боковой проекциях. Рентгенографические исследования выполняли в день операции, через 7, 14 и 25 суток с начала дистракции, а также через 14, 30, 60 и 90 суток после окончания дистракции и демонтажа аппарата, что соответствовало срокам фиксации сегмента пластиной. Три собаки были выведены из эксперимента через 30 суток фиксации, остальные три собаки — на 90-е сутки. После эвтаназии были проведены патологоанатомические исследования органокомплекса бедра и соприкасающихся с пластиной тканей.

Статистический анализ результатов исследования проводили в программе AtteStat 13.1. Определяли средние значения (M) и стандартное отклонение (σ). Для проверки распределения нормальности выборки использовали критерий Шапиро – Уилка. Значимость различий определяли по W -критерию Вилкоксона для независимых выборок. Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты

Послеоперационный период у животных проходил без осложнений. Серозное отделяемое из стержневых каналов было непостоянным и незначительным. В течение 1–5 суток на бедре у одной собаки в области скакательного сустава наблюдали отек мягких тканей без четких границ. Как правило, животные в первые сутки после операции наступали на конечность при движении. Иногда в первые дни наблюдали хромоту опирающегося типа. Объем движений в тазобедренном и скакательном суставах был полным. К началу дистракции, на 7-е сутки после операции, двигательная и опорная функции оперированной конечности были выражены хорошо. В процессе всего периода удлинения кости собаки пользовались оперированной конечностью. Начиная с 10–14-х суток дистракции, животные при движении немного отводили оперированную конечность и опирались лишь на кончики пальцев. Особенно это было заметно к концу дистракции — на 25-е сутки. В период фиксации, через 30, 60 и 90 суток после блокировки пластины, незначительное отведение конечности сохранялось ввиду разной длины конечностей, а опора на конечность становилась более полной.

Первые рентгенологические признаки дистракционного остеогенеза визуализировали на 7-е сутки удлинения как тени эндостальных регенератов в виде столбиков шириной 5–9 мм в центре межотломкового диастаза от концов отломков. На 14-е сутки дистракции тени регенерата имели размытые очертания, в центре прерывались, по обоим краям выглядели как зубчатые образования (рис. 2 а). Ось кости была правильной, смещения отломков не наблюдали. К концу дистракции (25 суток) во всех наблюдениях ось кости была правильной. Тени костных регенератов имели продольно исчерченную структуру. Срединная зона просветления размером 1–5 мм располагалась как по диагонали, так и поперек регенерата, либо была прерывистой. Периостальных наслоений выявлено не было. Стабильность накостной пластины сомнений не вызывала. На данном этапе эксперимента

в условиях операционной пластину блокировали 3–4 винтами на уровне дистального отломка через паз и нижнее отверстие, аппарат демонтировали (рис. 2 б). Средняя величина удлинения составила 23 ± 2 мм, индекс внешнего остеосинтеза — $13,9 \pm 1,5$ дн./см ($p \leq 0,05$).

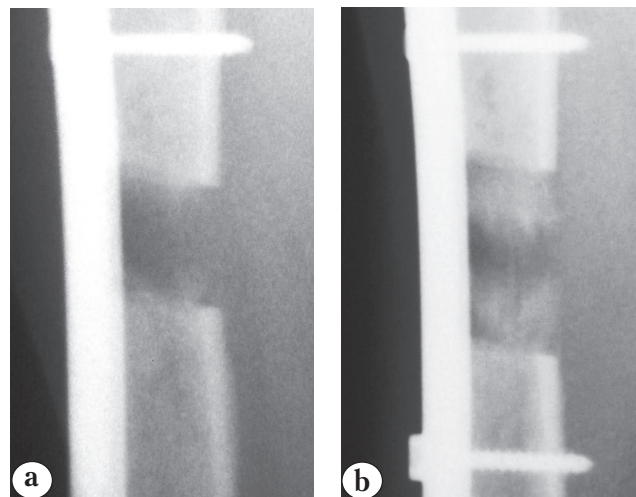


Рис. 2. Удлинение бедра в условиях комбинированного остеосинтеза:
а – 14-е сутки удлинения;
б – 25-е сутки удлинения, демонтаж аппарата и блокировка пластины.
Рентгенограммы выполнены в прямой проекции

Fig. 2. Femoral lengthening using combined fixation, distraction period. AP x-rays:
a – 14 days of lengthening; shadows of endosteal regenerate;
b – 25 days of lengthening; fixator removal and locking of the plate

На 14-е сутки фиксации бедренной кости пластиной регенерат заметно отличался по структуре от регенерата двухнедельной давности. Тени соединительнотканых прослоек были минимизированы, линия просветления в центре регенерата прерывистая. Плотность регенерата увеличилась (рис. 3 а).

На 30-е сутки фиксации тень регенерата в большинстве случаев приобретала однородную структуру, имела нормопластический тип. Линия просветления в центре регенерата едва заметна. Рентгенографические признаки периостальной реакции в области регенерата были отмечены в трех случаях из шести (рис. 3 б).

В четырех наблюдениях из шести слабая периостальная реакция в виде плотных теней имела место в области выхода нарезной части винтов, фиксирующих пластину на дистальном отломке бедренной кости.

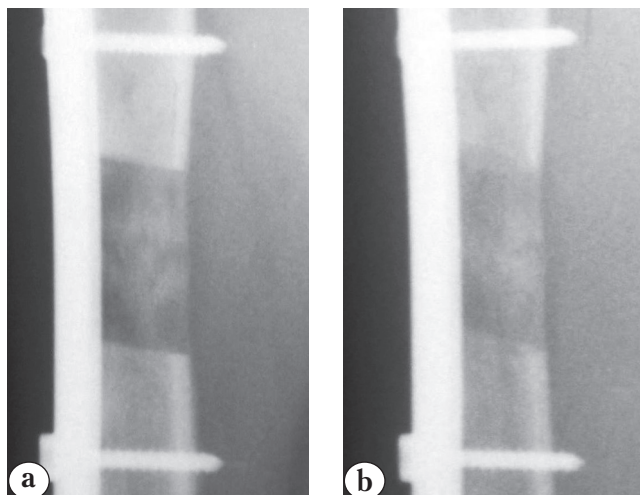


Рис. 3. Фиксация пластиной после удлинения бедра в условиях комбинированного остеосинтеза:
а – 14-е сутки после удлинения – линия просветления в центре регенерата прерывистая;
б – 30-е сутки после удлинения – линия просветления в центре регенерата едва заметна.
Рентгенограммы выполнены в прямой проекции

Fig. 3. Plate fixation after femoral lengthening by combined method. AP X-rays:
a – day 14 after the lengthening procedure, intermittent lucency line in the center of regenerate;
b – day 30 after the lengthening procedure, faintly visible lucency line in the center of regenerate

К 60-м суткам фиксации верхняя граница между регенератом и материнской костью стиралась. Плотность регенерата увеличивалась, тень становилась более однородной. Тень кортикальной пластинки в области регенерата не дифференцировалась (рис. 4 а). Через 90 суток фиксации тень регенерата становилась полностью однородной, выявляли органотипическую перестройку регенерата с формированием кортикальных пластинок по периферии (рис. 4 б).

Патологоанатомические исследования органокомплекса тазовой конечности собаки через 30 суток фиксации пластиной выявили следующие макроскопические изменения. Визуально объем бедер оперированной и контралатеральной конечностей не отличался друг от друга. Между фасциями мышц бедра оперированной конечности имелись спайки. Жировая ткань на опытной конечности имела желтоватый оттенок, а на интактной была белого цвета. Вся поверхность пластины была покрыта «чехлом» из плотной соединительной ткани. Паз на пластине во всех трех случаях был заполнен

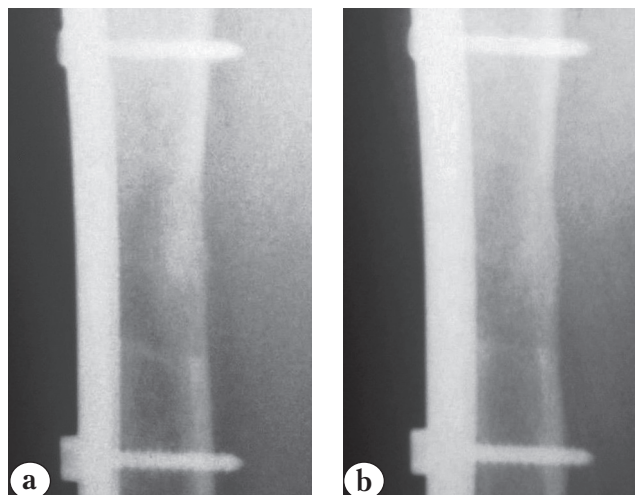


Рис. 4. Фиксация пластиной после удлинения бедра в условиях комбинированного остеосинтеза:
а – через 60 суток после удлинения, тень регенерата близка к однородной;
б – через 90 суток после удлинения, тень регенерата однородна.
Рентгенограммы выполнены в прямой проекции

Fig. 4. Plate fixation after femoral lengthening by combined osteosynthesis, AP X-rays:
a – 60 days after the lengthening procedure, regenerate shadow almost homogeneous;
b – 90 days after lengthening, homogeneous regenerate shadow

соединительной тканью с кровеносными сосудами, врастающими в «чехол», покрывающий пластину (рис. 5 а). Под пластиной кость была покрыта неоднородной тканью, напоминающей волокнистый хрящ без очагов некроза (рис. 5 б). В зоне регенерата под пластиной были выявлены островки хрящевой ткани (рис. 5 с).

На 90-е сутки фиксации бедренной кости пластиной явные признаки атрофии мышц бедра отсутствовали. Между фасциями мышц бедра тазовой конечности были обнаружены спайки. Соединительнотканый «чехол» легко снимался с верхней половины пластины (рис. 6 а). С нижней части пластины из-за заращения пазы соединительнотканно-хрящевыми образованиями приходилось выполнять резекцию тканей над пазом (рис. 6 б). Под пластиной очагов воспаления, расплавления или некроза подлежащих тканей не обнаружили. В зоне регенерата на всем его протяжении под пластиной обнаружены капиллярные сосуды, идентичные сосудам надкостницы, прорастающие к центру от краев зоны, покрытой пластиной (рис. 6 с).

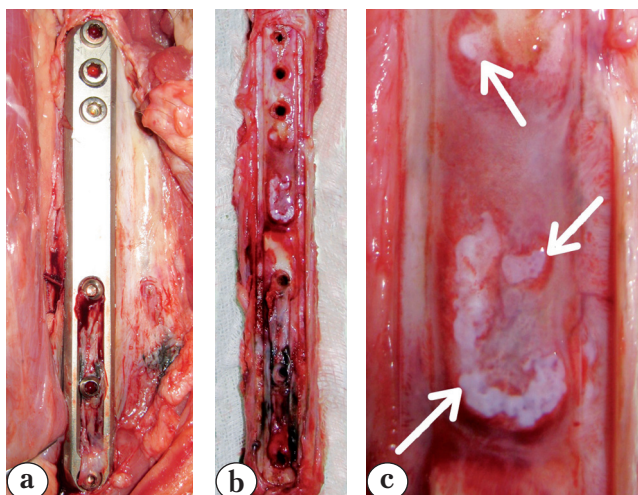


Рис. 5. Макроскопические изменения на 30-е сутки фиксации бедренной кости пластиной:

a – после удаления поверхностных тканей;
b – после удаления пластины и мягких тканей;
c – поверхность кости в зоне регенерата с наличием островков хрящевой ткани (стрелки)

Fig. 5. Macroscopic changes by day 30 of femoral plate fixation:

a – after removal of superficial tissues;
b – after removing the plate and soft tissues;
c – bone surface condition in the regenerated area with some islands of cartilaginous tissue (arrows)

Обсуждение

Индекс остеосинтеза при удлинении бедра различными методами варьирует от 30 до 105 дней на 1 см удлинения [2]. Многие комбинированные методики удлинения бедренной кости в целом снижают индекс остеосинтеза [3, 12, 21]. В нашем опыте индекс остеосинтеза у экспериментальных животных при монолокальном удлинении бедра составил $13,9 \pm 1,5$ дн./см ($p < 0,05$), что значительно ниже ранее полученных в эксперименте результатов [12].

К отрицательным моментам следует отнести необходимость повторных, пусть и несложных, оперативных вмешательств для удаления металлоконструкции. Аппараты внешней фиксации нередко вызывают контрактуру коленного сустава с последующими остео- и хондропатиями. Данная методика создает условия для ранней функциональной нагрузки. Амплитуда движений коленного сустава у экспериментальных животных в течение опыта и к концу эксперимента составляла 90° .

Комбинированный остеосинтез, предполагающий использование спице-стержневого аппарата внешней фиксации и оригинальной наkostной пластины при удлинении бедра,

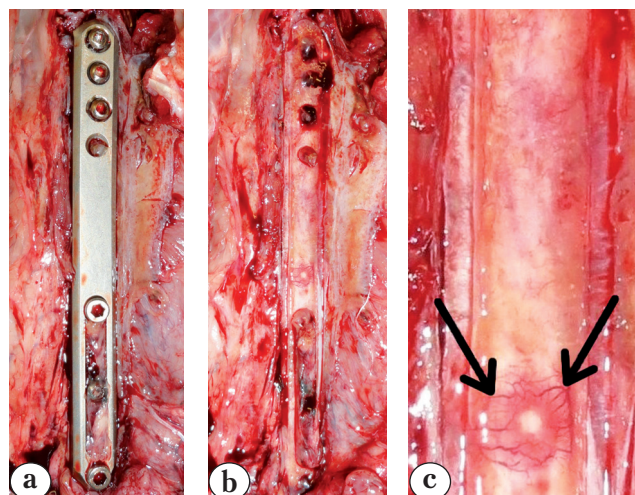


Рис. 6. Макроскопические изменения на 90-е сутки фиксации бедренной кости пластиной:

a – после удаления поверхностных тканей;
b – после удаления пластины;
c – надкостничная область кости в зоне регенерата, прорастание капиллярных сосудов (стрелки)

Fig. 6. Macroscopic changes by day 90 of femoral plate fixation:

a – after removing superficial tissues;
b – after plate removal;
c – periosteal bone condition in the regenerated area, ingrowth of capillary vessels (arrows)

уменьшает травмирующий фактор элементов чрескостной наружной фиксации на смежные суставы и мышцы бедра, что позволяет снижать риски атрофии мышц, формирования стойких контрактур суставов, а также восстанавливать функцию поврежденной конечности в более ранние сроки. Конструкция фиксирующей пластины защищает регенерат от переломов в безаппаратном периоде наблюдения при отсутствии его органотипической перестройки. В отличие от интрамедуллярных фиксаторов использование пластины позволяет сохранить эндостальное и периостальное кровоснабжение [10]. Во время эксперимента мы не наблюдали ни одного случая поломки металлоконструкции, винта или их деформации, соответственно дистракционный регенерат также сохранял свою целостность.

Таким образом, удлинение при помощи пластины и аппарата внешней фиксации является альтернативой как классической технологии, так и интрамедуллярной методике. Применение комбинированной технологии подразумевает использование традиционных аппаратов внешней фиксации, имеющихся в арсенале большинства ортопедических клиник, и пластины

оригинальной конструкции. Технологические особенности ее изготовления после выполнения необходимых процедур по сертификации не представляют больших трудностей для производителя.

Конфликт интересов: не заявлен.

Источник финансирования: работа выполнена в рамках государственного задания на 2015–2017 гг.

Литература / References

1. Колчев О.В., Борзунов Д.Ю. Устранение врожденного укорочения нижней конечности (историческая справка). *Гений ортопедии*. 2010;(2):57-63.
Kolchev O.V., Borzunov D.Yu. [Elimination of the lower limb congenital shortening (historical reference)]. *Genij ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2010;(2):57-63. (in Russian).
2. Шаповалов В.М., Хоминец В.В., Михайлов С.В., Шакун Д.А., Капилевич Б.Я. Комбинированный способ восстановления длины бедра и голени при лечении больных с последствиями травм и дефектами развития *Гений ортопедии*. 2010;(1):116-121.
Shapovalov V.M., Khominets V.V., Mikhailov S.V., Shakun D.A., Kapilevich B.Ya. [Combined technique of restoring the length of femur and leg when treating patients with injury consequences and developmental defects]. *Genij ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2010;(1):116-121. (in Russian).
3. Степанов М.А., Кононович Н.А., Горбач Е.Н. Репаративная регенерация костной ткани при удлинении конечности методикой комбинированного distraction остеосинтеза. *Гений ортопедии*. 2010;(3): 89-94.
Stepanov M.A., Kononovich N.A., Gorbach E.N. [Reparative regeneration of bone tissue when limb lengthening using the technique of combined distraction osteosynthesis]. *Genij ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2010;(3):89-94. (in Russian).
4. Соколовский О.А., Сердюченко С.Н., Бродко Г.А., Урьев Г.А. Уравнивание длины нижних конечностей — исторические ракурсы и современные тенденции. *Медицинские новости*. 2011;(7):11-19.
Sokolovskii O.A., Serdyuchenko S.N., Brodtko G.A., Ur'ev G.A. [Equalization of the lower limb length — historical perspectives and current trends]. *Meditsinskie novosti* [Medical News]. 2011;(7):11-19. (in Russian).
5. Шевцов В.И., Шрейнер А.А. Удлинение трубчатых костей у собак с использованием внутрикостного стержня (предварительные результаты). *Гений ортопедии*. 1999;(3):76-78.
Shevtsov V.I., Shreiner A.A. [Lengthening of canine tubular bones using an intraosseous rod (preliminary results)]. *Genij ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 1999;(3):76-78. (in Russian).
6. Min W.K., Min B.G., Oh C.W., Song H.R., Oh J.K., Ahn H.S., Park B.C., Kim P.T. Biomechanical advantage of lengthening of the femur with an external fixator over an intramedullary nail. *J Pediatr Orthop*. 2007;16(1):39-43. DOI: 10.1097/01.bpb.0000236221.91453.90.
7. Li Z., Zhang X., Duan L., Chen X. Distraction osteogenesis technique using an intramedullary nail and a monolateral external fixator in the reconstruction of massive postosteomyelitis skeletal defects of the femur. *Can J Surg*. 2009; 52(2):103-111.
8. Gordon J.E., Manske M.C., Lewis T.R., O'Donnell J.C., Schoenecker P.L., Keeler K.A. Femoral lengthening over a pediatric femoral nail: results and complications. *J Pediatr Orthop*. 2013;33(7):730-736. DOI: 10.1097/BPO.0b013e3182a122a1.
9. Rozbruch S.R., Kleinman D., Fragomen A.T., Ilizarov S. Limb lengthening and then insertion of an intramedullary nail: a case-matched comparison. *Clin Orthop Relat Res*. 2008;466(12):2923-2932. DOI: 10.1007/s11999-008-0509-8.
10. Jasiewicz B., Kacki W., Tesiorowski M., Potaczek T. Results of femoral lengthening over an intramedullary nail and external fixator. *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol*. 2008;73(3):177-183.
11. Попков Д.А., Ерофеев С.А., Чиркова А.М. Удлинение голени с использованием интрамедуллярного напряженного армирования (экспериментальное исследование). *Гений ортопедии*. 2005;(4):81-89.
Popkov D.A., Erofeev S.A., Chirkova A.M. [Leg lengthening using intramedullary stressed reinforcement (an experimental study)]. *Genij ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2005;(4):81-89. (in Russian).
12. Попков А.В., Аранович А.М., Новиков К.И., Чибиров Г.М., Попков Д.А. Комбинированный высоко дробный distraction остеосинтез бедра у детей. *Гений ортопедии*. 2016;(1):140-146.
Popkov A.V., Aranovich A.M., Novikov K.I., Chibirov G.M., Popkov D.A. [Combined distraction femoral osteosynthesis of high division in children]. *Genij ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2016;(1):140-146. (in Russian).
13. Harbacheuski R., Fragomen A.T., Rozbruch S.R. Does lengthening and then plating (LAP) shorten duration of external fixation? *Clin Orthop Relat Res*. 2012;470(6):1771-1781. DOI: 10.1007/s11999-011-2178-2.
14. Endo H., Asaumi K., Mitani S., Noda T., Minagawa H., Tetsunaga T., Ozaki T. The minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO) technique with a locking compression plate for femoral lengthening. *Acta Med Okayama*. 2008;62(5):333-339.
15. Uysal M., Akpınar S., Cesur N., Hersekli M.A., Tandoğan R.N. Plating after lengthening (PAL): technical notes and preliminary clinical experiences. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2007;127(10):889-893. DOI: 10.1007/s00402-007-0442-4.
16. Iobst C.A., Dahl M.T. Limb lengthening with submuscular plate stabilization: a case series and description of the technique. *J Pediatr Orthop*. 2007;27(5):504-509. DOI: 10.1097/01.bpb.0000279020.96375.88.
17. Oh C.W., Song H.R., Kim J.W., Choi J.W., Min W.K., Park B.C. Limb lengthening with a submuscular locking plate. *J Bone Joint Surg Br*. 2009;91(10):1394-1399. DOI: 10.1302/0301-620X.91B10.22325.
18. Oh C.W., Shetty G.M., Song H.R., Kyung H.S., Oh J.K., Min W.K., Lee B.W., Park B.C. Submuscular plating after distraction osteogenesis in children. *J Pediatr Orthop B*. 2008;17(5):265-269. DOI: 10.1097/BPB.0b013e32830688d8.
19. Kulkarni R., Singh N., Kulkarni G.S., Kulkarni M., Kulkarni S., Kulkarni V. Limb lengthening over plate. *Indian J Orthop*. 2012;46(3):339-345. DOI: 10.4103/0019-5413.96378.
20. Попков Д.А., Попков А.В., Данильченко Г.В., Аборин С.А. Современное состояние проблемы оперативного удлинения бедра (обзор литературы). *Гений ортопедии*. 1999;(3):105-111.

- Popkov D.A., Popkov A.V., Danil'chenko G.V., Aborin S.A. [The current state of the problem of surgical femoral lengthening (review of the literature)]. *Genij ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 1999;(3):105-111. (in Russian).
21. Paley D., Herzenberg J.E., Paremian G., Bhave A. Femoral lengthening over an intramedullary nail. A matched-case comparison with Ilizarov femoral lengthening. *Bone Joint Surg Am.* 1997;79(10):1464-1480.
 22. Hasler C.C., Krieg A.H. Current concepts of leg lengthening. *J Child Orthop.* 2012;6(2):89-104. DOI: 10.1007/s11832-012-0391-5.
 23. Said G.Z., Said H.G., el-Sharkawi M.M. Failed intramedullary nailing of femur: open reduction and plate augmentation with the nail in situ. *Int Orthop.* 2011;35(7):1089-1092. DOI: 10.1007/s00264-010-1192-4.
 24. Fragomen A.T., Rozbruch S.R. The mechanics of external fixation. *HSSJ.* 2007;3(1):13-29. DOI: 10.1007/s11420-006-9025-0.
 25. Kuiken T.A., Butler B.A., Sharkey T., Ivy A.D., Li D., Peabody T.D. Novel intramedullary device for lengthening transfemoral residual limbs. *J Orthop Surg Res.* 2017;12(1):53. DOI: 10.1186/s13018-017-0553-8.
 26. Paley D. Problems, obstacles, and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique. *Clin Orthop Relat Res.* 1990;(250):81-104.
 27. Burghardt R.D., Paley D., Specht S.C., Herzenberg J.E. The effect on mechanical axis deviation of femoral lengthening with an intramedullary telescopic nail. *J Bone Joint Surg Br.* 2012;94(9):1241-1245. DOI: 10.1302/0301-620X.94B9.28672.
 28. Paley D. PRECICE intramedullary limb lengthening system. *Expert Rev Med Devices.* 2015;12(3):231-249. DOI: 10.1586/17434440.2015.1005604.
 29. Степанов М.А., Шрейнер А.А. Моделирование комбинированного дистракционного остеосинтеза у собак. *Гений ортопедии.* 2001;(2):155-156. Stepanov M.A., Shreiner A.A. [Combined distraction osteosynthesis modeling in dogs]. *Genij ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2001;(2):155-156. (in Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Степанов Михаил Александрович — канд. вет. наук, ведущий научный сотрудник экспериментальной лаборатории ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган

Антонов Николай Иванович — канд. биол. наук, научный сотрудник экспериментальной лаборатории ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган

Борзунов Дмитрий Юрьевич — д-р мед. наук, заместитель директора по научной работе ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России; профессор кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Тюмень

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Mikhail A. Stepanov — Cand. Sci. (Veterinary), Leading Researcher, Experimental Laboratory, Ilizarov Russian Scientific Center «Restorative Traumatology and Orthopedics», Kurgan, Russian Federation

Nikolay I. Antonov — Cand. Sci. (Biology), Researcher Experimental Laboratory, Ilizarov Russian Scientific Center «Restorative Traumatology and Orthopedics», Kurgan, Russian Federation

Dmitry Yu. Borzunov — Dr. Sci. (Med.), Deputy Director for Science, Ilizarov Russian Scientific Center «Restorative Traumatology and Orthopedics», Kurgan, Russian Federation; Professor of the Traumatology and Orthopedics Chair, Tyumen State Medical University, Tyumen, Russian Federation