

Обзорная статья

УДК 616.71-003.93-001.5-089 (048.8)

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-1-134-141>



Несостоятельный дистракционный регенерат как осложнение дистракционного остеосинтеза: факторы риска формирования, превентивная диагностика, лечение

К.И. Новиков^{1,2✉}, Е.В. Клинцов¹, О.В. Климов¹, К.С. Сергеев²

¹ Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

² Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, Россия

Автор, ответственный за переписку: Константин Игорьевич Новиков, kinovikov@mail.ru

Аннотация

Введение. Несмотря на большое количество статей об осложнениях, связанных с оперативным удлинением, информация о таком осложнении чрескостного дистракционного остеосинтеза, как несостоятельный костный регенерат (в иностранной литературе называемый hypoplastic), встречается крайне редко. Отсутствуют методы прогнозирования перестройки регенерата и клинические рекомендации по ведению пациентов на различных стадиях перестройки дистракционного регенерата. Это влечет за собой длительный срок иммобилизации и тяжелые осложнения.

Цель работы – определение по данным литературы понятия несостоятельного («ишемического»/гипопластического) костного регенерата и проблемы его формирования как осложнения при оперативном удлинении конечностей.

Материалы и методы. При отборе источников для систематизированного литературного обзора использованы база данных PubMed и научная электронная библиотека eLIBRARY. Отобраны источники, опубликованные с 1997 по 2020 год. Поиск проведен по запросам: осложнения при дистракционном остеосинтезе, переломы после оперативного удлинения конечностей, ишемический костный регенерат, виды костного дистракционного регенерата, bone regenerate complications during lengthening, ischemic bone regenerate, classification of distraction bone regenerate, treatment of ischemic bone regenerate, fractures after bone lengthening.

Результаты и обсуждение. Несостоятельный дистракционный костный регенерат является осложнением оперативного удлинения сегмента, при котором форма и/или структура новообразованной кости не позволяет осуществлять функциональную нагрузку на сегмент. Имеется общая тенденция: удлинения более 15-20 % значительно снижают биомеханические свойства дистракционного регенерата. В большинстве статей возраст пациентов, в котором проведено оперативное удлинение, не указан в качестве фактора риска переломов дистракционного регенерата, в то время как наличие в анамнезе проблем и осложнений дополнительным фактором риска является. К несостоятельному (нестабильному) дистракционному регенерату большинство авторов относят III-V морфотипы и 1, 5, 7 структурные типы по классификации Ru Li. Клинических рекомендаций по оперативной тактике нет. Такое осложнение дистракционного остеосинтеза как несостоятельный дистракционный костный регенерат часто упоминается в сообщениях из различных стран в период с 1997 по 2020 год. Имеются противоречивые статистически недостоверные данные по поводу прогнозирования рисков перехода регенерата в менее стабильные типы. Представленные варианты оперативного лечения статистически не обрабатываемы (случаи единичные) и описывают не все возможные клинические ситуации.

Заключение. Проблема несостоятельности дистракционного регенерата и нарушения его органотипической перестройки остается одной из важнейших проблем удлинения конечностей. Нарушение формирования и перестройки вновь образованной кости обусловлено множеством причин как анатомо-физиологического, так и технологического характера, многие из которых требуют дальнейшего всестороннего изучения.

Ключевые слова: гипопластический/ишемический/атрофический дистракционный регенерат, осложнения дистракционного остеосинтеза, классификация дистракционного регенерата

Для цитирования: Новиков К.И., Клинцов Е.В., Климов О.В., Сергеев К.С. Несостоятельный дистракционный регенерат как осложнение дистракционного остеосинтеза: факторы риска формирования, превентивная диагностика, лечение. *Гений ортопедии*. 2024;30(1):134-141. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-1-134-141. EDN: EZRBEC.



Failed distractional bone regeneration as a complication of distraction osteosynthesis: risk factors, preventive diagnosis, treatment

K.I. Novikov^{1,2}✉, E.V. Klintsov¹, O.V. Klimov¹, K.S. Sergeev²

¹ Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

² Tyumen State Medical University, Tyumen, Russian Federation

Corresponding author: Konstantin I. Novikov, kinovikov@mail.ru

Abstract

Introduction Despite the large number of articles on complications associated with surgical lengthening, information about such a complication of transosseous distraction osteosynthesis as failed bone regenerate (called hypoplastic in foreign literature) is extremely rare. There are no methods for predicting the restructuring of the regenerate and clinical recommendations for the management of patients at various stages of reconstruction of the distraction regenerate. This entails a long period of immobilization and severe complications.

The objective of the work was to define the notion of inadequate (“ischemic”/hypoplastic) bone regeneration and the problem of its formation as a complication during surgical limb lengthening

Material and methods The PubMed database and the eLIBRARY scientific electronic library were used to select sources for a systematic literature review. The sources published between 1997 and 2020 were selected

Results and discussion Ineffective distraction bone regenerate is a complication of surgical segment lengthening with the shape and/or structure of the newly formed bone preventing functional load on the segment. There is a general tendency with bone elongations being greater than 15-20 % to significantly reduce biomechanical properties of the distractional regenerate bone. Patients' age at surgical lengthening is not reported as a risk factor for distraction regenerate fractures and a history of adverse events and complications is regarded as an additional risk factor. Inadequate (unstable) distraction regenerate bone includes morphotypes III-V and structural types 1, 5, 7 as classified by Ru Li. There are no clinical guidelines for operational strategy. Failed distraction bone regeneration as a complication of distraction osteosynthesis was reported by different authors between 1997 and 2020. There are conflicting statistically unreliable data regarding a risk for regenerate bone to develop into a less stable type. The surgical options presented have no statistical significance (occasional case reports) and do not describe all possible clinical scenarios.

Conclusion The problem of failed distraction regeneration and impaired organotypic restructuring remains one of the most important problems in limb lengthening. Inadequate formation and restructuring of newly formed bone can be caused by many factors including anatomical, physiological and technological aspects that would require further comprehensive study.

Keywords: hypoplastic/ischemic/atrophic distractional regenerate bone, complications of distraction osteosynthesis, classification of distraction regenerate bone

For citation: Novikov KI, Klintsov EV, Klimov OV, Sergeev KS. Failed distractional bone regeneration as a complication of distraction osteosynthesis: risk factors, preventive diagnosis, treatment. *Genij Ortopedii*. 2024;30(1):134-141. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-1-134-141

ВВЕДЕНИЕ

Абсолютными значениями по количеству оперативных удлинений сегментов конечностей мировая статистика не обладает ввиду того, что медицинские организации во многих странах не представляют подобные сведения. Несмотря на большое количество статей и отчётов об осложнениях, связанных с оперативным удлинением, информация о таком осложнении чрескостного дистракционного остеосинтеза, как несостоятельный костный регенерат (в иностранной литературе называемый *hypoplastic*), встречается крайне редко (1–4,8 % от всех оперативных удлинений сегментов).

Ввиду отсутствия методов прогнозирования перестройки регенерата в нестабильный тип, провести превентивные мероприятия заблаговременно, как правило, невозможно. Отсутствие же клинических рекомендаций по ведению пациентов на различных стадиях перестройки дистракционного регенерата влечёт за собой длительный срок иммобилизации и тяжёлые осложнения (атрофия мышц, контрактура суставов, резкое снижение мобильности и качества жизни пациентов, неблагоприятное воздействие на психическое здоровье).

Цель работы – определение по данным литературы понятия несостоятельного («ишемического»/гипопластического) костного регенерата и проблемы его формирования как осложнения при оперативном удлинении конечностей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для систематизированного литературного обзора по данной тематике использованы база данных PubMed и научная электронная библиотека eLIBRARY. Поиск проведен по запросам: осложнения при чрескостном дистракционном остеосинтезе, переломы после оперативного удлинения конечностей, ишемический костный регенерат, виды костного дистракционного регенерата, *bone regenerate complications during lengthening, ischemic bone regenerate, classification of distraction bone regenerate, treatment of ischemic bone regenerate, fracture after limb lengthening*. Отобраны источники, опубликованные с 1997 по 2020 год.

Мы не рассматривали работы, связанные с челюстно-лицевой хирургией, удлинением коротких губчатых костей, экспериментальные работы, исследования «случай/контроль» и статьи, доступные только на платной основе.

Суммарно по всем запросам было найдено 1207 статей (808 – в eLIBRARY и 399 – в PubMed). Отобрано 37 источников, из них 5 патентов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Определение понятия

Определение ишемического дистракционного регенерата в своём исследовании дали D. Borzunov et al. [1]. Для оценки различных гипопластических видов дистракционного регенерата авторы использовали рентгенологическую классификацию R. Li [2]. В данной классификации выделяется 5 основных форм:

- Fusiform (площадь регенерата превышает площадь межотломкового диастаза);
- Cylindrical (площадь регенерата соответствует площади межотломкового диастаза);
- Concave (регенерат сформирован по типу «песочных» часов);
- Lateral (регенерат имеет краевой дефект);
- Central (регенерат представлен тонкой колонной в центральной части межотломкового диастаза).

По мнению авторов, к «ишемическому» дистракционному регенерату, сформированному по гипопластическому типу, можно отнести формы 3 и 5. Форму 4 (с формированием краевого дефекта и гипопластическим типом костеобразования) нецелесообразно относить к «ишемическому» регенерату. Она, как правило, связана с травматичным нарушением целостности кости со стороны выполнения остеотомии. При этом авторы чётко дифференцируют «ишемический» регенерат от «гипопластического» на основании следующих признаков: а) преобладание площади соединительнотканной прослойки над площадью костных отделов регенерата; б) преобладание площади межотломкового диастаза над площадью регенерата; в) отсутствие тенденции к увеличению длины и площади костных отделов (по данным лучевых методов исследования в динамике); г) образование на концах костных отделов регенерата замыкательных пластинок с признаками формирования зоны несращения (по типу атрофического ложного сустава); д) несоответствие органотипической перестройки регенерата продолжительности фиксации в сочетании с сохранением патологической подвижности при выполнении клинической пробы консолидации; е) формирование дефекта мягких тканей в проекции «ишемического» регенерата.

В лечении пациентов с данной патологией авторами предложена остеотомия проксимального и дистального материнских фрагментов кости с последующей встречной компрессией и компактизацией [1].

F. Schiedel et al. в период с 2008 по 2010 год при анализе 67 пациентов (101 случай удлинения бедра) докладывали об 11 случаях образования нестабильного типа регенерата. При этом авторы отмечали,

что случаев с невозможностью интрамедуллярного армирования они не наблюдали. Также в их работе показана невозможность прогнозирования возникновения перелома, основываясь на классификации Ru Li. Авторы отнесли к «нестабильным» типам 4, 5 морфотипы и 1-4 структурные типы регенерата [3].

J. Kenwright et al. классифицировали переломы после оперативного удлинения сегмента. Авторами выделено 4 типа: Ia – компрессия зоны регенерата, Ib – перелом в зоне роста регенерата со смещением, II – перелом в области «основания» регенерата, III – перелом материнской кости проксимальнее/дистальнее зоны регенерата, IV – перелом смежного сегмента [4].

Профилактическая диагностика и факторы риска

Г.В. Дьячкова с соавт. в 2003 г. при анализе исходов выполнения дистракционного остеосинтеза у 149 пациентов установили, что при высоте зоны просветления (соединительнотканной прослойки) более чем 20 % от высоты диастаза необходимо выяснение причин и внесение корректив в процессе дистракции; если поперечник регенерата в области «зоны роста» – полосы просветления – меньше диаметра костных фрагментов на 20 %, необходимо выяснение причин и внесение корректив в условия удлинения из-за риска перестройки регенерата по типу «песочных часов» [5].

А.Л. Шастов в своей диссертационной работе к факторам риска образования «ишемического» дистракционного регенерата относит неоднократные и безуспешные оперативные вмешательства в анамнезе, ангионеврологические нарушения, рубцовое перерождение мягких тканей, травматичное нарушение целостности отломка при выполнении остеотомии, неадекватный темп перемещения фрагментов, отсутствие своевременного мониторинга [6].

Также доказана эффективность определения уровня С-реактивного белка (СРБ) для прогнозирования вероятности нарушения формирования дистракционного регенерата при удлинении сегментов по Илизарову. Сохранение уровня СРБ в сыворотке крови, не превышающего 6 мг/л в течение первых 10 суток после начала дистракции, является прогностическим признаком, свидетельствующим о высокой вероятности нарушения формирования дистракционного регенерата [7].

При оценке результатов удлинения нижних конечностей у больных с системными заболеваниями скелета, сопровождающимися патологически низким ростом, доказано, что частота неблагоприятных результатов увеличивается при повторных удлинениях сегментов в возрасте 14 и более лет, при удлинении во взрослом возрасте (старше 20 лет), при превышении 50 % от исходной длины сегмента, при индексе остеосинтеза (ИО) менее 20 дн./см при удлинении бедра во вторую очередь на этапе перекрестного удлинения, а также в случаях удлинения нижних конечностей у пациентов с синдромом Шерешевского – Тернера [8].

К.А. Дьячков доказал, что в период дистракции площадь «зоны роста» регенерата не должна превышать 23-33 % от его общей площади. Превышение данного показателя приводит к развитию осложнений в большинстве случаев [9].

Также доказана роль соотношения белых клеток крови с CD3++ и CD19++ более 6,6 единицы и уровня сывороточного иммуноглобулина А более 3,3 в замедлении консолидации переломов и при выполнении чрескостного дистракционного остеосинтеза по Илизарову [10].

При изучении 28 случаев удлинения на 30-55 % от исходной длины сегмента у 14 пациентов K.N. Devmurari et al. приводят данные о возникновении переломов регенерата после демонтажа аппарата внешней фиксации в сроки 440-545 дней. Авторы отмечают следующие тенденции: при удлинении сегмента до 30 % переломы не возникают; атипичная форма мозоли и ее оптические свойства соответствуют параметрам бедренной кости [11].

L. Zaka et al., проанализировав исходы у 19 пациентов (средний возраст 43 года), перенёсших удлинение на интрамедуллярном стержне в среднем на 38,9 мм, показали отсутствие взаимосвязи эффективности дистракционного остеосинтеза и возраста пациента [12].

В противоположность им, другие авторы [13] при ретроспективном анализе с 2004 по 2009 г. исходов у 63 пациентов (возраст от 3 до 57 лет), перенёсших удлинение циркулярными и монологическими аппаратами внешней фиксации, показали, что возраст и индекс излечения (healing index) являются важнейшими предикторами осложнений, связанных с перестройкой дистракционного регенерата в нестабильные типы. Стоит отметить неинформативность использования индекса излечения как такового. Данный показатель рассчитывается путём деления количества дней от начала лечения до полного выздоровления пациента на абсолютное или относительное удлинение оперированного сегмента (рассчитывается только в конце лечения, а не в начале или середине, и для прогнозирования использоваться не может).

В другой работе [14] показано, что в 72 случаях удлинения сегментов у 25 пациентов возникло 17 переломов, причём последние происходили при различных морфотипах регенерата без чёткой зависимости от относительного удлинения сегмента (от 39 до 66 %).

К.Р. Venkatesh et al. [15] проанализировали результаты 20 пациентов, перенёвших двустороннее удлинение монолатеральным аппаратом внешней фиксации. Пациенты были разделены на 2 группы: 12 пациентов с удлинением менее 50 % от первоначальной длины сегмента и 8 – более 50 %. В начальной фазе дистракции у всех пациентов наблюдались стабильные типы регенерата (70 % – веретенообразный и 30 % – цилиндрический). В следующие фазы дистракции в первой группе произошла перестройка регенерата в менее стабильный тип в 85 % случаев, во второй – в 62 %, при этом в 25 % из них – в нестабильные типы. Данное соотношение сохранялось и в стадии консолидации. Во всех случаях удлинения более 10 см наблюдалась перестройка регенерата в менее стабильный тип. Также авторами отмечена корреляция между структурой регенерата и риском развития перелома. Переломы не ассоциировались с «прозрачным» (относится к 4 и 8 типам по классификации R. Li и характеризуется наличием рентген-прозрачной прослойки в проекции зоны роста регенерата) типом регенерата и цилиндрической формой. Переломы регенерата III типа по Li лечились с помощью повторного остеосинтеза аппаратом внешней фиксации, при лечении пациентов с регенератом IV и V типов дополнительно к внеочаговому чрескостному компрессионно-дистракционному остеосинтезу (ВЧКДО) использовали костную пластику (в случаях более 4-х месяцев отсутствия динамики после демонтажа аппарата).

В опубликованном в 2012 г. докладе F. Launaya et al. [16] о ретроспективном исследовании по удлинению 111 сегментов (40 бёдер, 71 голень, возраст пациентов – от 5 до 32 лет) в период с 2000 по 2010 г. выявили большую частоту переломов бедра в сравнении с голенью. При этом большая часть переломов соответствовала типу II по Simpson-Kenwright. Частота переломов была выше при выполнении оперативного вмешательства у пациентов до 9 лет и начале дистракции в срок ранее 7 дней после остеотомии. Взаимосвязи между началом удлинения и возрастом пациента статистически не обнаружено.

N. Muzaffar et al. при анализе 15 случаев удлинения бёдер у 15 пациентов (возраст от 12 до 32 лет) отметили образование трех «ложных» цилиндрических регенератов (с 8 недели дистракции объём регенерата (измеряемый в пикселях) начинал уменьшаться и к 22 неделе не превышал 15 % от соответствующих участков материнской кости). Подобная ситуация опасна тем, что при несвоевременной диагностике либо бездействии со стороны лечащего врача полностью теряются биомеханические свойства новообразованной кости, и требуется повторное оперативное вмешательство [17].

Опубликованные в 2013 г. данные обработки 319 удлинений нижних конечностей по Илизарову у пациентов в возрасте от 3 до 50 лет показали сильную прямую связь между индексом удлинения (месяц/см удлинения) и длиной регенерата (т. е. чем больше удлинение сегмента, тем дольше сроки фиксации в аппарате). Индекс удлинения был наименьшим у самых молодых пациентов. Также было выявлено достоверное различие показателей индекса удлинения на различных сегментах (на бедре на 16 % меньше, чем на голени). Статистически доказать более длительные сроки для повторных удлинений сегмента авторы не смогли [18].

M. Kenawey et al. при анализе 37 случаев удлинения бедра системой ISKD отметили в 8 случаях образование несостоятельного дистракционного регенерата (при этом описание данных случаев и определение понятия авторами опускается). К важным факторам риска авторы относят скорость дистракции более 1,5 мм/сутки, возраст более 30 лет, курение, удлинение более 4 см [19].

В своей работе N.G. Burkel et al. [20] при анализе 178 случаев удлинения бёдер у 108 пациентов показал частоту переломов дистракционного регенерата в 4,5 %. Они установили отсутствие статистически значимой зависимости между частотой переломов и возрастом пациентов, полом, временем проведения оперативного вмешательства. К статистически значимому фактору риска отнесли удлинения более 5 см.

В процесс удлинения конечностей помимо костной ткани вовлечены все структурные элементы сегмента и конечности в целом, и от их сохранности во многом зависит успех лечения. Большая роль отводится в данном случае мышцам. Так, Т.И. Менщикова в своём исследовании [21] показала, что применение УЗ-диагностики для определения резервных возможностей мышц (показатель эхоплотности) позволяет достичь максимально возможного удлинения без негативных последствий.

Варианты лечения

Основной акцент в большинстве работ делается на «воспитание» дистракционного регенерата и стимуляцию дистракционного остеосинтеза.

Так, С.С. Леончук с соавт. в своей статье [22] к показаниям к стимуляции остеогенеза относят регенерат в виде песочных часов, высоту срединной прослойки 10 мм и более, низкую минерализацию костных отделов при ультразвуковом исследовании. При этом авторы относят механическую стимуляцию к наиболее простым и эффективным методам (постепенная или одномоментная компрессия регенерата на 7-10 мм с приложением определенной силы). Это обеспечивает соединение концов костного регенерата, а ишемизация соединительнотканной прослойки стимулирует ангиогенез последней. В результате восстанавливается целостность регенерата, увеличивается диаметр и повышается механическая прочность. Еще большей эффективностью обладает так называемая «ротационная» компрессия дистракционного регенерата. Ее суть заключается в том, что в ходе дозированного удлинения сегмента и коррекции оси конечности аппаратом после 5-7 дней продольно-осевого перемещения фрагментов кости дополнительно осуществ-

влияют их дозированный наружный ротационный разворот относительно друг друга на величину 15-20°. Причем ротацию производят с темпом 2-3°/сутки. Биомеханическая стимуляция производилась с использованием автоматической высокочастотной дистракции. Для стимуляции остеогенеза используют «аккордеонный маневр», суть которого заключается в дистракции утром на 0,25 мм, затем днем компрессии на 0,25 мм, а в вечернее время вновь дистракции на 0,25 мм. Также хорошие результаты показывает применение биоактивных имплантов (комбинированный остеосинтез интрамедуллярно вводимыми спицами, покрытыми гидроксиапатитом), гипербарической оксигенации, локальное применение низкочастотного импульсного ультразвука на область регенерата и электростимуляции мышц конечности.

А.Л. Шастов отмечает, что методами выбора лечения при формировании «ишемического» дистракционного регенерата являются компактизация регенерата (в т.ч. с выполнением дополнительной остеотомии), малоинвазивное введение костной аутоостружки с элементами костномозгового канала или парной малоберцовой кости [6].

В.И. Шевцов при ретроспективном анализе (с 1976 по 2020 г.) 213 источников литературы и 564 пациентов выделил несколько основных направлений: 1 – использование ауто- и гетеропластики для замещения дефектов костей; 2 – пластика дефектов пересадкой малоберцовой кости; 3 – разработка и использование искусственных материалов для замещения дефектов; 4 – применение тканеинженерных и клеточных технологий [23]. Метод Г.А. Илизарова автор признаёт самым биологичным методом замещения дефектов. Эффективность достигает 97,7-100 %, но в некоторых случаях его применение невозможно (короткие отломки, необходимость длительного лечения, ограниченность времени нахождения в стационаре, отдаленное проживание больных от медицинских центров и т. п.).

В.Д. Балаян с соавт. при анализе исходов лечения 120 пациентов в возрасте от 23 до 72 лет показали, что использование реваскуляризирующей остеоперфорации, Х-образной продольной остеотомии, костной пластики ауто- и аллотрансплантатами в сочетании с фиксацией отломков наконечным фиксатором, аппаратом внешней фиксации, интрамедуллярным остеосинтезом с блокированием винтами (БИОС) и внутрикостно стержнем Fixion для стимуляции репаративного остеогенеза сокращает период фиксации конечности аппаратом внешней фиксации (с 115 ± 12 дней до 85 ± 12 дней) [24].

Т.И. Долганова с соавт. [25] при оценке ишемического дистракционного регенерата при полилокальном удлинении отломков у больных с дефектом длинных костей (ультразвуковое исследование) доказали, что формирование дистракционных регенератов при последовательном многоуровневом удлинении отломка протекает независимо друг от друга. Выполнение дополнительной остеотомии удлиняемого отломка и последующее дискретное перемещение костных фрагментов могут вызывать усиление репаративных процессов в зоне формирующегося по «ишемическому» типу дистракционного регенерата с закрытием краевого дефекта новообразованной костной тканью и ускорением его органотипической перестройки (последнее должно активно учитываться при выборе хирургической тактики лечения).

Также отдельными исследованиями выявлены дополнительные способы стимуляции дистракционного регенерата, которые могут применяться как в профилактических, так и в лечебных целях: при выполнении остеотомии рекомендуется оставлять продольный отщеп по задней поверхности кости (он является источником остеоиндуктивных клеток) [26]; использование ГБО эффективно для купирования сосудистых, неврологических и биомеханических осложнений [27]; введение обогащённой тромбоцитами плазмы в зону дистракционного регенерата значительно снижает риск развития несостоятельного регенерата [28]; дозированное удлинение со спиралевидным продольным отклонением отломков обеспечивает образование полноценного объёмного костного регенерата [29]; ускорение темпа дистракции в первые 10 дней после остеотомии с таким же замедлением за 10 дней до окончания дистракции приводит к полноценному формированию костного регенерата с площадью, сопоставимой с площадью материнских отломков [30].

J.J. Jauregui et al. [31] в метаанализе 192 случаев удлинения сегментов доказали, что применение LIPUS (низкочастотная ультразвуковая стимуляция) и PEMF (пульсирующее электромагнитное поле) уменьшает ИИ (индекс излечения) с 45,4 дня/см удлинения до 33,7 дня/см.

A.H.R.W. Simpson et al. [32] при проведении исследования (32 пациента с использованием стимуляции системой LIPUS и 30 – с плацебо), напротив, показали отсутствие эффекта ультразвукового воздействия на дистракционный остеогенез. Курение повышало индекс излечения на 50 %.

По мнению H.I. Balci et al. [33], для достижения положительных исходов при удлинении конечностей (авторы изучили большой клинический материал по КТ-данным с 1997 по 2016 г. по удлинению голени при врожденных ложных суставах большеберцовой кости) оптимальным является темп дистракции 0,564 мм/день.

K.-W. Park et al. [34] при анализе исходов у 148 пациентов с ахондроплазией, перенесших удлинение сегментов нижних конечностей, отметили большую частоту осложнений при удлинении бедра. Также основные показатели оценки дистракции были лучше при удлинении голени. Авторы приводят пример образования регенерата V типа по Li (вариант лечения представлен армированием спицами с постановкой аутотрансплантата из гребня подвздошной кости с удовлетворительным результатом).

ОБСУЖДЕНИЕ

Несостоятельный дистракционный костный регенерат является осложнением оперативного удлинения сегмента, при котором форма и/или структура новообразованной кости не позволяет осуществлять функциональную нагрузку на сегмент.

Данное осложнение относится к разделу переломов после оперативного удлинения сегмента (III, IV типы осложнений по Donnan).

Публикуемые данные по частоте переломов после оперативного удлинения сегмента составляют в среднем 2,9 % (1-4,8 %, в одном исследовании приводится частота в 40 %) [35, 36]. Однако в 11 крупных исследованиях на 1065 сегментах (у различных возрастных категорий, при различных нозологиях, различных величинах удлинения), отобранных для анализа, зарегистрировано 117 переломов и деформаций на уровне регенерата, что составляет 10,99 % (о чём необходимо информировать пациентов при получении согласия на оперативное вмешательство по поводу удлинения сегмента).

Практически во всех работах отмечается следующая тенденция: удлинения более 15-20 % резко повышают частоту различных осложнений (в т.ч. развития несостоятельного дистракционного костного регенерата).

Данные по поводу влияния возраста на частоту осложнений являются противоречивыми. В большинстве статей возраст, в котором проводят оперативное удлинение, не является фактором риска развития несостоятельного дистракционного регенерата, а наличие в анамнезе проблем и осложнений при выполнении предыдущих оперативных удлинений сегментов является дополнительным фактором риска (значимость его численно не указывается).

При лечении данной патологии используют как оперативные, так и консервативные методы лечения (гипсовая/пластиковая повязка, остеосинтез пластиной/TEN с аутопластикой или без нее, встречный биллокальный остеосинтез аппаратом внешней фиксации). При этом единых рекомендаций для клиницистов на данный момент не выработано.

Мы, как и другие исследователи, считаем наиболее удобной для оценки дистракционного регенерата классификацию R. Li, выделяющую 5 морфотипов и 10 типов структуры регенерата [37].

К несостоятельному дистракционному (нестабильному) регенерату большинство авторов относят III-V морфотипы и 1, 5, 7 структурные типы (при выявлении данных структур на рентгенограммах следует активно принимать меры по стимуляции дистракционного регенерата).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема несостоятельности дистракционного регенерата и нарушения его органотипической перестройки была, есть и, к сожалению, остается одной из важнейших при удлинении конечностей. Нарушение формирования и перестройки вновь образованной кости обусловлено множеством причин как анатомо-физиологического, так и технологического характера, многие из которых до настоящего времени остаются предметом дискуссий и требуют дальнейшего всестороннего изучения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Borzunov DY, Shastov AL. Mechanical solutions to salvage failed distraction osteogenesis in large bone defect management. *Int Orthop*. 2019;43(5):1051-1059. doi: 10.1007/s00264-018-4032-6
2. Li R, Saleh M, Yang L, Coulton L. Radiographic classification of osteogenesis during bone distraction. *J Orthop Res*. 2006;24(3):339-47. doi: 10.1002/jor.20026
3. Schiedel F, Elsner U, Goshager G, et al. Prophylactic titanium elastic nailing (TEN) following femoral lengthening (Lengthening then rodding) with one or two nails reduces the risk for secondary interventions after regenerate fractures: a cohort study in monolateral vs. bilateral lengthening procedures. *BMC Musculoskelet Disord*. 2013;14:302. doi: 10.1186/1471-2474-14-302
4. Launay F, Younsi R, Pithieux M, et al. Fracture following lower limb lengthening in children: a series of 58 patients. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2013;99(1):72-9. doi: 10.1016/j.otsr.2012.08.005
5. Дьячкова Г.В., Михайлов Е.С., Ерофеев С.А. и др. Качественные и количественные показатели рентгенологической оценки дистракционного регенерата. *Гений ортопедии*. 2003;(4):11-15.
6. Шастов А.Л. Оптимизация восстановительных процессов у пациентов с ложными суставами и костными дефектами в условиях нарушенного остеогенеза: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Курган; 2016:24. Доступно по: <https://www.dissercat.com/content/optimizatsiya-vosstanovitelnykh-protsessov-u-patsientov-s-lozhnymi-sustavami-i-kostnymi-defektami>. Ссылка активна на 22.08.2023.
7. Аранович А.М., Стогов М.В., Тушина Н.В., Киреева Е.А. С-реактивный белок как прогностический маркер нарушений дистракционного остеогенеза. Предварительное сообщение. *Гений ортопедии*. 2020;26(3):382-384. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-3-382-384
8. Шукин А.А., Аранович А.М., Попков А.В., Попков Д.А. Оценка результатов удлинения нижних конечностей у больных с системными заболеваниями скелета, сопровождающимися патологически низким ростом. *Гений ортопедии*. 2014;(2):44-51.
9. Дьячков К.А. Лучевая диагностика в выявлении закономерностей формирования дистракционного регенерата и качества кости при удлинении конечности: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М.; 2016:48. Доступно по: <https://www.dissercat.com/content/luchevaya-diagnostika-v-vyyavlenii-zakonornostey-formirovaniya-distraktsionnogo-regenerata-i-kachestva-kosti-pri-udlinenii-konечности>. Ссылка активна на 22.08.2023.
10. Бердюгина О.В. Иммунологические критерии прогноза костного ремоделирования при повреждении: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Челябинск; 2008:50. Доступно по: <https://www.dissercat.com/content/immunologicheskie-kriterii-prognoza-kostnogo-remodelirovaniya-pri-povrezhdenii>. Ссылка активна на 22.08.2023.

11. Devmurari KN, Song HR, Modi HN, et al. Callus features of regenerate fracture cases in femoral lengthening in achondroplasia. *Skeletal Radiol*. 2010 Sep;39(9):897-903. doi: 10.1007/s00256-009-0742-6
12. Zak L, Arnhold R, Tiefenboeck TM, Wozasek GE. The influence of advanced age in bone healing after intramedullary limb lengthening. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2021;107(8):103055. doi: 10.1016/j.otsr.2021.103055
13. Liantis P, Mavrogenis AF, Stavropoulos NA, et al. Risk factors for and complications of distraction osteogenesis. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2014;24(5):693-8. doi: 10.1007/s00590-013-1261-7
14. Kitoh H, Mishima K, Matsushita M, et al. Early and late fracture following extensive limb lengthening in patients with achondroplasia and hypochondroplasia. *Bone Joint J*. 2014;96-B(9):1269-1273. doi: 10.1302/0301-620X.96B9.33840
15. Venkatesh KP, Modi HN, Devmurari K, et al. Femoral lengthening in achondroplasia: magnitude of lengthening in relation to patterns of callus, stiffness of adjacent joints and fracture. *J Bone Joint Surg Br*. 2009;91(12):1612-7. doi: 10.1302/0301-620X.91B12.22418
16. Launay F, Younsi R, Pithieux M, et al. Fracture following lower limb lengthening in children: a series of 58 patients. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2013;99(1):72-9. doi: 10.1016/j.otsr.2012.08.005
17. Muzaffar N, Hafeez A, Modi H, Song HR. Callus patterns in femoral lengthening over an intramedullary nail. *J Orthop Res*. 2011;29(7):1106-1113. doi: 10.1002/jor.21353
18. Koczewski P, Shadi M. Factors influencing bone regenerate healing in distraction osteogenesis. *Ortop Traumatol Rehabil*. 2013;15(6):591-9. doi: 10.5604/15093492.1091515
19. Kenawey M, Krettek C, Lioudakis E, et al. Insufficient bone regenerate after intramedullary femoral lengthening: risk factors and classification system. *Clin Orthop Relat Res*. 2011;469(1):264-73. doi: 10.1007/s11999-010-1332-6
20. Burke NG, Cassar-Gheiti AJ, Tan J, et al. Regenerate bone fracture rate following femoral lengthening in paediatric patients. *J Child Orthop*. 2017;11(3):210-215. doi: 10.1302/1863-2548.11.160216
21. Менщикова Т.И. Структурно-функциональные аспекты в обосновании оперативного удлинения нижних конечностей: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Тюмень, 2007:48. Доступно по: <https://earthpapers.net/preview/299350/a/?#?page=1>. Ссылка активна на 22.08.2023.
22. Шевцов В.И., Леончук С.С. Стимуляция дистракционного остеогенеза при удлинении конечностей: наша концепция. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(1):75-85. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-1-75-85
23. Шевцов В.И. Дефекты длинных костей – краткая история развития технологии их возмещения. *Уральский медицинский журнал*. 2022;21(2):43-46. doi: 10.52420/2071-5943-2022-21-2-43-46
24. Балаян В.Д., Тишков Н.В., Барабаш Ю.А., Кауц О.А. Хирургическое лечение псевдартрозов длинных трубчатых костей с использованием дополнительных очагов костеобразования. *Сибирский медицинский журнал*. 2009;(7):73-75.
25. Долганова Т.И., Борзунов Д.Ю., Менщикова Т.И., Шастов А.Л. Оценка ишемического дистракционного регенерата при полилокальном удлинении отломков у больных с дефектом длинных костей (ультразвуковое исследование). *Гений ортопедии*. 2013;(2):62-66.
26. Шевцов В.И., Новиков К.И., Скляр Л.В., Зыков А.Г. Способ удлинения длинных трубчатых костей. Патент РФ на изобретение № 2281707. 20.08.2006. Бюл. № 23. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2281707&TypeFile=html. Ссылка активна на 22.08.2023.
27. Новиков К.И., Сазонова Н.В., Аранович А.М., Менщикова Т.И. Способ купирования осложнений при дистракционном удлинении конечностей. Патент РФ на изобретение № 2268669. 27.01.2006. Бюл. № 3. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2268669&TypeFile=html. Ссылка активна на 22.08.2023.
28. Десятиченко К.С., Ларионов А.А., Гребнева О.Л., Ерофеев С.А., Ковинька М.А. Способ стимуляции репаративного остеогенеза. Патент РФ на изобретение № 2193868. 10.12.2002. Бюл. № 34. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2193868&TypeFile=html. Ссылка активна на 22.08.2023.
29. Новиков К.И. Способ удлинения трубчатой кости. Патент РФ на изобретение № 2271766. 20.03.2006. Бюл. № 8. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2271766&TypeFile=html. Ссылка активна на 22.08.2023.
30. Шевцов В.И., Новиков К.И., Скляр Л.В., Аранович А.М., Михайлов Е.С. Способ удлинения длинной трубчатой кости. Патент РФ на изобретение № 2182471. 20.05.2002. Бюл. № 14. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2182471&TypeFile=html. Ссылка активна на 22.08.2023.
31. Jauregui JJ, Ventimiglia AV, Grieco PW, et al. Regenerate bone stimulation following limb lengthening: a meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord*. 2016 Sep 29;17(1):407. doi: 10.1186/s12891-016-1259-5
32. Simpson AH, Keenan G, Nayagam S, et al. Low-intensity pulsed ultrasound does not influence bone healing by distraction osteogenesis: a multicentre double-blind randomised control trial. *Bone Joint J*. 2017;99-B(4):494-502. doi: 10.1302/0301-620X.99B4.BJJ-2016-0559.R1
33. Balci H, Bayram S, Pehlivanoglu T, et al. Effect of lengthening speed on the quality of callus and complications in patients with congenital pseudarthrosis of tibia. *Int Orthop*. 2021;45(6):1517-1522. doi: 10.1007/s00264-021-05011-7
34. Park KW, Garcia RA, Rejuso CA, et al. Limb Lengthening in Patients with Achondroplasia. *Yonsei Med J*. 2015;56(6):1656-62. doi: 10.3349/ymj.2015.56.6.1656
35. Frost MW, Kold S, Rahbek O, et al. Complications in Elective Removal of 271 Bone Lengthening Nails (FITBONE, PRECICE and STRYDE). *Strategies Trauma Limb Reconstr*. 2021;16(2):110-115. doi: 10.5005/jp-journals-10080-1529
36. El-Sayed M, Correll J, Hosny G.A., et al. Bone regenerate complications during lengthening: incidence, predisposing factors, and treatment. *European Orthopaedics and Traumatology*. 2015;6(4):445-449.
37. Борзунов Д.Ю., Шастов А.Л. «Ишемический» дистракционный регенерат: толкование, определение, проблемы, варианты решения. *Травматология и ортопедия России*. 2019;25(1):68-76. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-1-68-76

Статья поступила 22.12.2022; одобрена после рецензирования 25.01.2023; принята к публикации 01.12.2023.

The article was submitted 22.12.2022; approved after reviewing 25.01.2023; accepted for publication 01.12.2023.

Информация об авторах:

Константин Игорьевич Новиков – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник, kinovikov@mail.ru;

Егор Владимирович Клинов – аспирант, e.rubisco@mail.ru;

Олег Владимирович Климов – доктор медицинских наук, врач травматолог-ортопед;

Константин Сергеевич Сергеев – доктор медицинских наук, профессор.

Information about the authors:

Konstantin I. Novikov – Doctor of Medical Sciences, Leading Researcher, kinovikov@mail.ru;

Egor V. Klintsov – graduate student, e.rubisco@mail.ru;

Oleg V. Klimov – Doctor of Medical Sciences, traumatologist-orthopedist;

Konstantin S. Sergeev – Doctor of Medical Sciences, Professor.