

«Ишемический» дистракционный регенерат: толкование, определение, проблемы, варианты решения

Д.Ю. Борзунов^{1,2}, А.Л. Шастов¹

¹ ФГБУ «Российский научный центр „Восстановительная травматология и ортопедия“ им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия

² ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Тюмень, Россия

Реферат

Цель исследования — дать определение и толкование «ишемического» дистракционного регенерата, формирующегося при компрометированном течении дистракционного остеогенеза и оценить эффективность механического воздействия на регенерат у пациентов с костными дефектами и ложными суставами. **Материал и методы.** Были успешно пролечены 17 пациентов с дефектами длинных костей предплечья и голени, имевших на этапах чрескостного остеосинтеза осложнение в виде нарушения дистракционного остеогенеза с формированием «ишемического» регенерата. Средняя величина дефектов составила 22,3% (у пациентов с дефектами костей предплечья) и 20% (у пациентов с дефектами костей голени) по отношению к контралатеральному сегменту. При лечении пациентов применяли механическую стимуляцию костеобразования посредством компрессии и компактизации проблемных дистракционных регенератов с использованием двух методик. В I группе пациентов выполняли дополнительную остеотомию удлиняемого отломка. Во II группе компактизировали регенераты на высоту соединительнотканной прослойки до контакта костных отделов регенерата. В работе были использованы методы описательной статистики. **Результаты.** У всех пациентов в результате механического воздействия на зоны компрометированного течения дистракционного остеогенеза удалось восстановить процесс новообразования костной ткани, претерпевшей в дальнейшем полную органотипическую перестройку. **Заключение.** На основании клинико-рентгенологических признаков компрометированного течения дистракционного остеогенеза предложено определение и толкование понятия «ишемический регенерат». Выполненный ретроспективный анализ результатов механического воздействия посредством компрессии и компактизации компрометированных дистракционных регенератов без смены технологии остеосинтеза свидетельствует о его эффективности.

Ключевые слова: «ишемический» регенерат, чрескостный остеосинтез, костные дефекты.

DOI: 10.21823/2311-2905-2019-25-1-68-76

„Ischemic“ Distraction Regenerate: Interpretation, Definition, Problems and Solutions


D.Yu. Borzunov^{1,2}, A.L. Shastov¹

¹ Russian Ilizarov Scientific Center «Restorative Traumatology and Orthopaedics», Kurgan, Russian Federation

² Tyumen State Medical University, Tyumen, Russian Federation

Abstract

The **purpose** of the study was to define «ischemic» distraction regeneration which happens during the compromised course of distraction osteogenesis and to show the effectiveness of the mechanical action on such regenerates in patients with bone defects and pseudarthrosis. **Materials and methods.** Seventeen patients with long bone defects (forearm and lower leg) were successfully treated. They had compromised distraction osteogenesis during the transosseous osteosynthesis stages and developed ischemic regenerates. The mean size of the defects

 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.

Cite as: Borzunov D.Yu., Shastov A.L. [„Ischemic“ Distraction Regenerate: Interpretation, Definition, Problems and Solutions]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2019;25(1):68-76. (In Russ.). DOI: 10.21823/2311-2905-2019-25-1-68-76.

 Борзунов Дмитрий Юрьевич / Dmitry Yu. Borzunov; e-mail: borzunov@bk.ru

Рукопись поступила/Received: 19.06.2018. Принята в печать/Accepted for publication: 23.11.2018.

relative to the contralateral segment in the forearm bones was 22.3% and 20% in patients with defects in the lower leg bones. Mechanical stimulation of compromised bone formation was used by means of compression and compaction of problematic distraction regenerates with two techniques. In group I, an additional osteotomy of the fragment under lengthening was performed. In group II, regenerates were compacted to the height of the regenerate connective tissue layer until its bony parts contacted. We used descriptive statistics methods. **Results.** The process of bone tissue formation restored in all patients due to the mechanical impact on the zones of compromised distraction osteogenesis, and its complete organotypic remodeling followed. **Conclusion.** Based on clinical and radiological signs of a compromised course of distraction osteogenesis, the notion of «ischemic regenerate» was defined and its manifestations were described. A retrospective analysis of the results of mechanical action on compromised distraction regenerates through compression and compaction without a change in the osteosynthesis technology shows its effectiveness.

Keywords: «ischemic» distraction regeneration, transosseous osteosynthesis, bone defect.

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

Funding: the state assignment for the implementation of scientific research and developments.

Ethical approval: all procedures performed in studies involving patients were conducted in accordance with the requirements of the 2013 Helsinki Declaration of Revision. Informed consent for this type of research is not required.

Введение

Основой несвободной костной пластики по Г.А. Илизарову является дозированное и направленное перемещение васкуляризованного трансплантата в проблемную зону с сохранением покрова мягких тканей. Несвободная костная пластика по Илизарову позволяет выполнять реконструкцию сегмента и создавать трубчатую кость практически любой длины и формы [1–5]. Но несмотря на оптимальные условия для перемещаемого ауто трансплантата, данный вариант костной пластики не лишен недостатков. При этом основные проблемы регенерации костной ткани у пациентов с дефектами, ложными суставами и удлинением конечностей некоторые авторы ассоциируют с возникающими переломами на уровне дистракционных регенератов [6–12].

По нашему клиническому опыту и данным литературы, основными причинами переломов и деформаций на уровне дистракционных регенератов являются преждевременный демонтаж аппаратов внешней фиксации, неадекватная нагрузка на сегмент и гипопластический тип формирования дистракционных регенератов [8, 10, 12, 13].

Некоторые авторы утверждают, что проблемы формирования дистракционных регенератов могут возникнуть при величине удлинения более 4–5 см [14]. Однако наибольшие риски формирования дистракционных регенератов по гипопластическому типу возникают при одноэтапном замещении костных дефектов на величину более 8–10 см [8, 13, 15]. При замещении костного дефекта длинной кости на данную величину в ряде

клинических случаев (от 1,6 до 13,8%) происходит замедление остеогенеза и формирование дистракционного регенерата по типу «песочных часов» [16, 17].

К настоящему времени в литературе нет общепринятых определений компрометированного формирования дистракционного регенерата при замещении костного дефекта при удлинении отломков по Илизарову. Наиболее часто используемыми синонимическими терминами, описывающими это понятие, являются «ишемический дистракционный регенерат» и «гипопластический дистракционный регенерат».

Целью исследования — дать определение и толкование понятия «ишемический дистракционный регенерат», а также оценить эффективность механического воздействия на него у пациентов с костными дефектами и ложными суставами.

Материал и методы

Работа основана на материалах диссертационного исследования одного из авторов*.

Нами были успешно пролечены 17 пациентов с дефектами длинных костей при формировании на этапах чрескостного остеосинтеза «ишемических» дистракционных регенератов. У 11 пациентов нарушение дистракционного остеогенеза было выявлено в стационаре во время контроля процесса костеобразования при удлинении отломков, 6 пациентов поступили в клинику с уже сформированными «ишемическими» регенератами.

Средний возраст пациентов составил 28,9±3,1 лет. Дефекты костей предплечья имели 10 человек (лучевой кости — 4, локтевой кости — 6), голени

* Кандидатская диссертация А.Л. Шастова «Оптимизация восстановительных процессов у пациентов с ложными суставами и костными дефектами в условиях нарушенного остеогенеза (клинико-экспериментальное исследование)», защищена 15.09.2016 (руководитель — д.м.н. Д.Ю. Борзунов).

(большеберцовой кости) — 7 человек. Средняя величина межотломкового диастаза составила $6,4 \pm 0,7$ см, средняя величина дефектов — $21,3 \pm 2,3\%$ по отношению к длине контралатерального сегмента (табл. 1).

В 6 клинических наблюдениях у пациентов были выявлены посттравматические нейропатии (при поражениях голени — 1, предплечья — 5). Во всех случаях мы наблюдали обширные рубцы мягких тканей, которые были локально и на протяжении интимно спаяны с противолежащими отломками. Количество предыдущих операций в расчете на одного пациента составило в среднем $2,6 \pm 0,5$ при дефектах костей предплечья и $3,4 \pm 0,8$ — при дефектах костей голени. Наличие «ишемического» регенерата было подтверждено рентгенологическим и сонографическим методами исследований, а также данными КТ.

Во всех клинических наблюдениях применяли механическую стимуляцию костеобразования посредством компрессии и компактизации проблемных дистракционных регенератов с использованием двух методик.

Первая методика предполагала выполнение дополнительной остеотомии (кортикотомии) удлиняемого отломка. Через сформированный костный фрагмент проводили с перекрестом 2–3 спицы, которые закрепляли в дополнительной кольцевой опоре аппарата Илизарова. Дистракцию темпом 0,5–1 мм в сутки начинали через 5–7 дней после операции. Перемещение фрагмента осуществляли по направлению к «ишемическому» дистракционному регенерату до контакта его костных отделов, выявляемого лучевыми методами исследования.

Техническое исполнение второй методики предполагало реализацию идеи В.И. Шевцова и А.В. Попкова об одномоментной компрессии нормотрофического дистракционного регенерата на высоту соединительнотканной прослойки («зоны роста» регенерата) при переудлинении сегмента [18]. Авторы этого изобретения при уравнивании

длины конечности предложили переудлинить сегмент на высоту «зоны роста» костного регенерата (0,5–1,0 см), а после завершения дистракции — одномоментно сближать опоры аппарата до контакта вершин проксимальной и дистальной частей костного регенерата с компрессией соединительнотканной прослойки.

Методика была нами адаптирована и модифицирована для решения проблемы органотипической перестройки «ишемического» дистракционного регенерата у пациентов с костными дефектами и ложными суставами. Компрессию выполняли одномоментно за два-три приема с перерывом в 2–3 недели либо дискретно по 2 мм в сутки до контакта его костных отделов и компактизации регенерата по периферии, определяемых лучевыми методами исследования.

В случае реконструкции двухкостного сегмента (голень) выполняли косую остеотомию для дублирования отломков либо резекцию малоберцовой кости на величину предполагаемой компрессии регенерата. Для реконструкции костей предплечья вторую методику не применяли в связи с анатомофункциональной равнозначностью парных костей сегмента.

В зависимости от примененных технологических подходов мы разделили пациентов на две группы.

В I группе у 15 больных для компактизации «ишемического» регенерата и восполнения костного дефекта выполняли дополнительную остеотомию удлиняемого отломка и перемещали сформированные фрагменты.

Во II группе (2 пациента) компактизировали регенераты на высоту соединительнотканной прослойки до контакта костных отделов регенерата по способу Шевцова — Попкова [18]. В большинстве случаев отдавали предпочтение компактизации «ишемического» регенерата после выполнения дополнительной остеотомии и восстановлению полной анатомической целостности костного остова сегмента.

Таблица 1

Характеристика пациентов с «ишемическими» дистракционными регенератами

Показатель	Локализация дефекта	
	Кости предплечья	Кости голени
Количество пациентов, чел.	10	7
Средний возраст пациентов, лет	$27,2 \pm 4$	$31,2 \pm 5$
Средняя величина межотломкового диастаза, см	$5,5 \pm 0,8$	$7,6, \pm 1,0$
Средняя величина дефектов по отношению к контралатеральному сегменту, %	$22,3 \pm 3,6$	$20 \pm 2,3$

Статистический анализ

В работе были использованы методы описательной статистики. Обработка данных проведена с помощью программы Microsoft Excel.

Результаты

В I группе общая продолжительность distraction составила в среднем $83,5 \pm 11,9$ дня. Дефект костной ткани был возмещен в среднем на $5,6 \pm 0,7$ см ($95,5 \pm 3,1\%$ от величины истинной утраты длины кости). Средняя продолжительность ком-

пактизации составляла $27,9 \pm 4,7$ дня, величина компактизации «ишемического» регенерата — $1,7 \pm 0,3$ см, средняя продолжительность фиксации в аппарате — $130,9 \pm 20,8$ дня. Целостность костей поврежденных сегментов была восстановлена во всех наблюдениях. Полного возмещения дефекта с восстановлением анатомической целостности кости и уравниванием длины сегментов удалось добиться у 12 больных, что составило 80% от всех пациентов. Результаты лечения пациентов I группы представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты лечения пациентов I группы

Показатель	Локализация дефекта	
	Кости предплечья	Кости голени
Средняя продолжительность distraction, дни	$80,2 \pm 14,7$	$91,8 \pm 23,1$
Средняя величина возмещения дефекта костной ткани, см	$4,8 \pm 0,7$	$7,4 \pm 1,7$
Средняя величина восполнения дефекта (% от величины истинной утраты длины кости)	$93,8 \pm 4,3$	100
Средняя продолжительность компактизации, дни	$28,1 \pm 6,1$	$33,5 \pm 10,1$
Средняя величина компактизации «ишемического» регенерата, см	$2,0 \pm 0,5$	$1,7 \pm 0,8$
Средняя продолжительность фиксации, дни	$107 \pm 13,2$	$190,5 \pm 61,8$

У двоих пациентов с изначальным дефектом локтевой кости 8,0 см оставшееся укорочение сегмента восполнили на следующем этапе лечения.

Клинический пример 1

Пациент Л., 35 лет, диагноз: посттравматический дефект левой большеберцовой кости; хронический посттравматический остеомиелит левой голени, период ремиссии; состояние после попытки замещения дефекта удлинением проксимального отломка большеберцовой кости с исходом формирования «ишемического» distractionного регенерата; последствие травматического повреждения левой голени с окклюзией передней и задней большеберцовых артерий и повреждением общего малоберцового нерва.

Из анамнеза заболевания известно, что больной получил открытый многооскольчатый перелом костей левой голени в результате огнестрельного ранения. Пациент до поступления в стационар был многократно оперирован, в том числе с использованием чрескостного и накостного остеосинтеза, а также перенес неоднократные секвестрнекрэктомии. Одним из безуспешных оперативных вмешательств была попытка заместить дефект большеберцовой кости удлинением проксимального отломка по Илизарову, в результате чего сформировался «ишемический» distractionный регенерат. При поступлении пациента в стационар левая голень

была фиксирована аппаратом Илизарова. Больной ходил без опоры на пораженную ногу при помощи двух костылей. В мягких тканях голени в зоне костного дефекта имелись рубцы, интимно спаянные с противолежащими отломками большеберцовой кости. Пульсация на задней и передней большеберцовых артериях не определялась. На рентгенограммах в верхней трети голени был выявлен «ишемический» distractionный регенерат величиной 5,0 см. Размер межотломкового диастаза в средней трети большеберцовой кости составлял 5,0 см, концы отломков были неконгруэнтными и истонченными (рис. 1 а). Укорочения сегмента выявлено не было.

Пациенту был выполнен демонтаж аппарата Илизарова, голень фиксировали задней гипсовой повязкой (рис. 1 б). В результате выполненной ангиографии была выявлена окклюзия первых порций передней и задней большеберцовых артерий. Бассейн малоберцовой артерии заполнялся контрастом за счет притока крови через коллатеральную сеть. Кровоток стопы был компенсирован.

Пациенту были выполнены остеотомии проксимального и дистального отломков левой большеберцовой кости, чрескостный остеосинтез левой голени аппаратом Илизарова. Целостность малоберцовой кости не нарушали.

Distraction в области проксимального регенерата начали на третий день после операции, одновременно

проводили компактизацию «ишемического» регенерата. Дистракцию в зоне дистальной остеотомии начали на пятые сутки темпом 0,5 мм/сутки. В области проксимальной остеотомии продолжительность дистракции составила 69 дней, в области дистальной дистракции — 67 дней. Компактизацию завершили при достижении контакта костных отделов «ишемического» регенерата. Дистракционный регенерат, сформированный в зоне дополнительной остеотомии, имел длину 5,0 см (рис. 1 с).

Открытая адаптация отломков была выполнена после достижения контакта между фрагментами. В дальнейшем выполняли поддерживающую компрессию на стыке отломков. На период фиксации пациент в аппарате был выписан на амбулаторное лечение. При контрольной явке пациента в поликлинику по данным рентгенографии было выявлено достижение консолидации отломков на стыке в средней трети большеберцовой

кости, перестройка дистракционных регенератов, формирование непрерывных кортикальных пластинок по периферии регенератов. При выполнении клинической пробы консолидации подвижность отломков отсутствовала, манипуляция была безболезненной. После демонтажа аппарата дополнительной фиксации сегмента не потребовалось. После снятия аппарата пациенту было разрешено полностью нагружать конечность.

Во II группе одной пациентке компактизировали дистракционный регенерат дважды по 0,5 см через 18 дней, второму пациенту проводили компактизацию дозированно в течение 29 дней. Компактизацию завершили при наступлении контакта костных отделов «ишемического» регенерата. До и после манипуляции проводили лучевой мониторинг. Фиксировали сегменты в аппаратах Илизарова после компактизации в течение 95 и 190 дней. В обоих случаях было достигнуто костное сращение дистракционных регенератов.

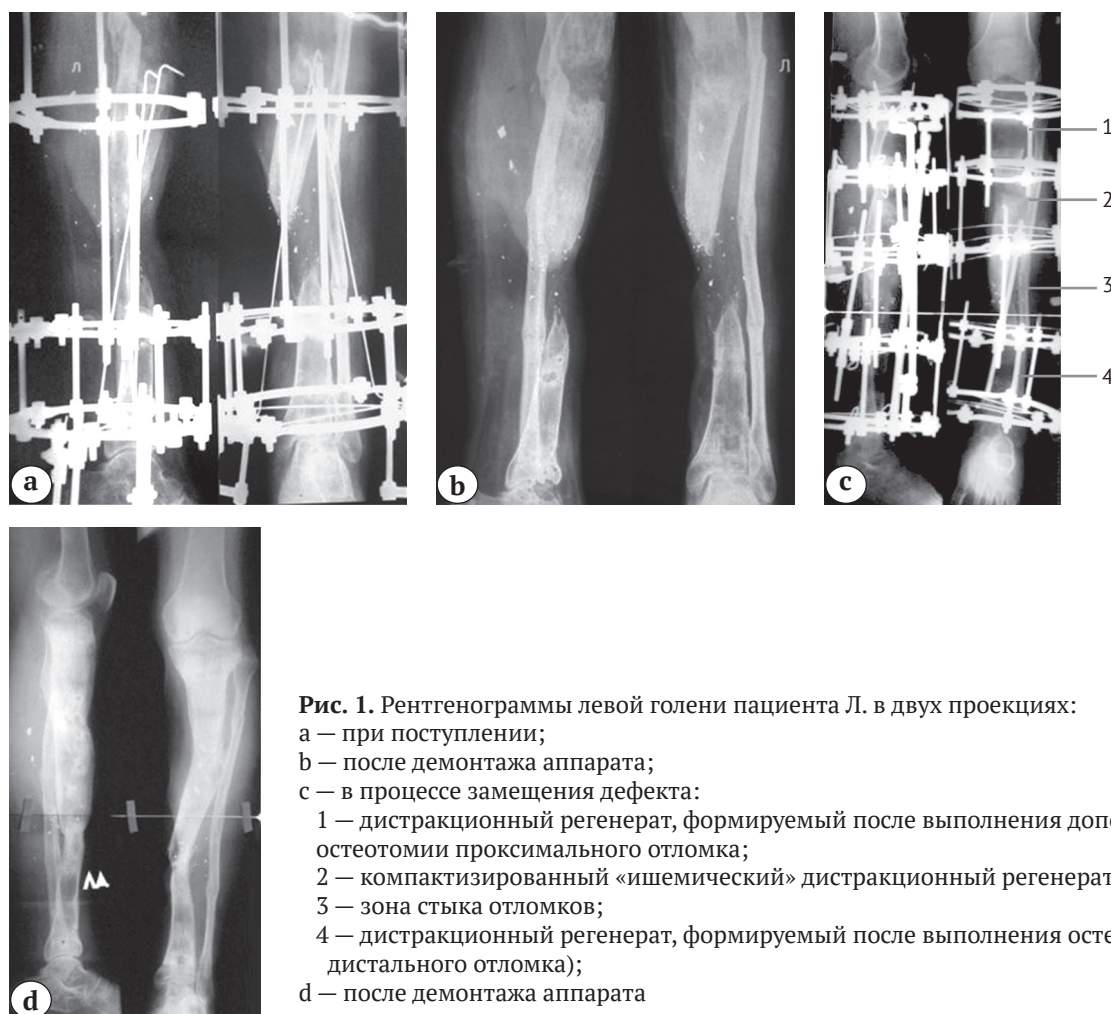


Рис. 1. Рентгенограммы левой голени пациента Л. в двух проекциях:

a — при поступлении;

b — после демонтажа аппарата;

с — в процессе замещения дефекта:

1 — дистракционный регенерат, формируемый после выполнения дополнительной остеотомии проксимального отломка;

2 — компактизированный «ишемический» дистракционный регенерат;

3 — зона стыка отломков;

4 — дистракционный регенерат, формируемый после выполнения остеотомии дистального отломка);

d — после демонтажа аппарата

Клинический пример 2

Пациент С., 32 лет, поступил в Центр через год после открытого перелома костей правой голени, полученного в результате ДТП. Суммарный дефект костной ткани большеберцовой кости величиной 10 см был сформирован после неоднократных секвестрнекрэктомий, выполненных по поводу остеомиелитического процесса, и попыток замещения дефекта кости по Илизарову. На момент поступления больной имел свищи с гнойным отделяемым, комбинированные контрактуры смежных суставов, рубцовые изменения мягких тканей, укорочение и отсутствие опороспособности правой нижней конечности. Отломки малоберцовой кости в верхней трети были дублированы, сращение отсутствовало. Ранее установленный аппарат был демонтирован (рис. 2а), выполнена saniрующая операция с фиксацией конечности аппаратом Илизарова. Остеотомия проксималь-

ного отломка большеберцовой кости была осуществлена после купирования воспалительного процесса.

Транспорт кости выполняли до контакта отломков в течение 40 дней по 1 мм в сутки. При визуализации рентгенограмм был выявлен дистракционный «ишемический» регенерат длиной 4,0 см (рис. 2б). Компрессию в зоне «ишемического» регенерата проводили до полного контакта костных отделов в течение 29 дней по 1,5–2 мм в сутки (рис. 2с). На стыке отломков была выполнена открытая адаптация. Отломки консолидированы через 190 дней. Был восстановлен костный остов голени с остаточным укорочением 10 см (рис. 2д, е).

После восстановления опороспособности конечности и полной перестройки костной ткани был проведен второй этап лечения по удлинению сегмента на 7,5 см и исправлению вальгусной деформации. Формирование дистракционного регенерата протекало стандартно.

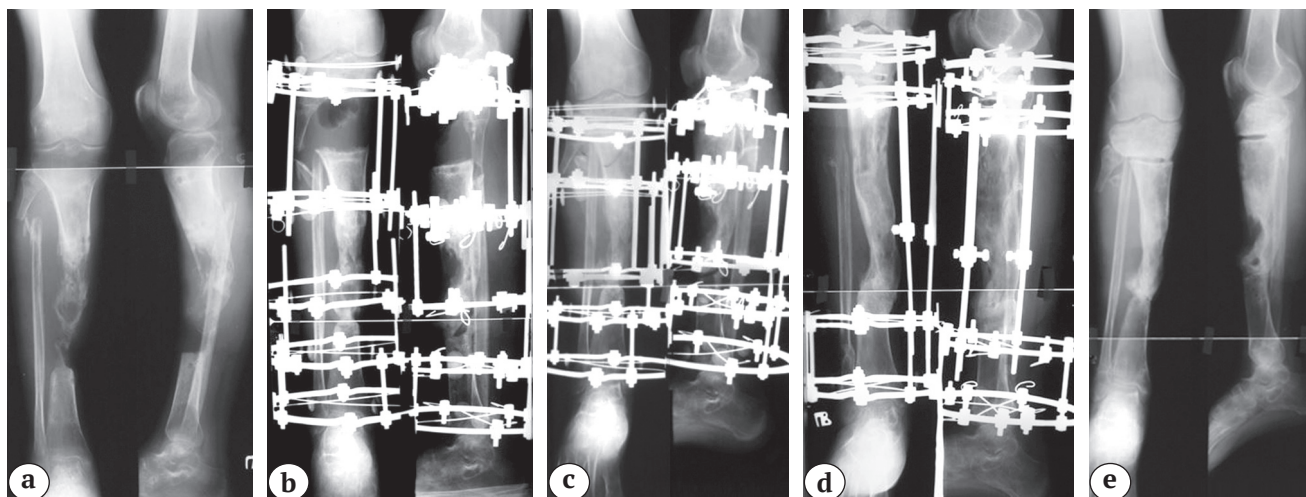


Рис. 2. Рентгенограммы правой голени в двух проекциях со смежными суставами пациента С.:
 а — при поступлении;
 б — после перемещения фрагмента и формирования «ишемического» дистракционного регенерата;
 с — после компактизации «ишемического» дистракционного регенерата;
 д — перед демонтажом аппарата;
 е — ближайший результат лечения

Обсуждение

Несвободная костная пластика по Илизарову широко применяется при замещении дефектов костей, удлинении конечностей, исправлении деформаций и устранении псевдоартрозов [2, 4–6, 8, 10–13, 15]. Тем не менее, при замещении обширных дефектов и удлинении конечностей возможно развитие переломов либо формирование ложных суставов на уровне дистракционного регенерата [8, 10–13, 19].

Известно, что дистракционный регенерат представлен двумя васкуляризированными костными отделами, разделенными соединительнотканной прослойкой, имеющей более скудную сеть новообразованных сосудов [20–23]. Если площадь

соединительнотканной прослойки преобладает над костными отделами, то формируется хрящевая волокнистая ткань, лишенная сосудов, с развитием в итоге псевдоартроза на уровне дистракционного регенерата. В литературных источниках имеются данные о критичных для риска развития несращений показателях высоты соединительнотканной прослойки более 8–10 мм дистракционного регенерата [23].

От активности ангиогенеза дистракционного регенерата зависит формирование костной ткани [19, 24–27]. Доказано увеличение кровотока в конечностях во время удлинения по методу Г.А. Илизарова, но при посттравматических или пострезекционных хронических дефектах костной

ткани изначально нарушенное кровообращение компенсируется не всегда [13, 19]. Выраженные рубцовые изменения, ангиотрофические расстройства, повреждения эндоста и нарушение внутрикостного кровообращения, полученные вследствие многократных оперативных вмешательств, травматичных и радикальных резекций и агрессивной высокоэнергетической травмы, также оказывают негативное влияние на трофику конечности и, соответственно, неблагоприятно влияют на процесс остеогенеза [24–27].

Уровень остеотомии, стабильность системы аппарата и темп distraction также оказывают влияние на активность остеогенеза [23, 24, 28]. Некоторые авторы рекомендуют при формировании соединительнотканной прослойки высотой более 8–10 мм темп distraction уменьшать, а при высоте меньше 2 мм — увеличивать, что связано с риском преждевременного сращения [23].

К настоящему времени нет общепризнанных классификаций вариантов течения distractionного остеогенеза. По данным литературы, базовой классификацией формирования distractionной костной мозоли является классификация Ru Li, в которой автор выделяет 10 типов и пять форм distractionного остеогенеза [22, 29].

Форма 1. «Fusiform» (площадь регенерата превышает площадь межотломкового диастаза).

Форма 2. «Cylindrical» (площадь регенерата соответствует площади межотломкового диастаза).

Форма 3. «Concave» (регенерат сформирован по типу «песочных» часов).

Форма 4. «Lateral» (регенерат имеет краевой дефект).

Форма 5. «Central» (регенерат представлен тонкой колонной в центральной части межотломкового диастаза).

По нашему мнению, к «ишемическому» distractionному регенерату, сформированному по гипопластическому типу, можно отнести формы 3 и 5. Форму 4 (с формированием краевого дефекта и гипопластическим типом костеобразования) целесообразно относить к «ишемическому» регенерату. Она, как правило, связана с травматичным нарушением целостности кости со стороны выполнения остеотомии, удлинением отломков с формированием угловой деформации (пример — типичный дефект новообразований кости по передней поверхности большеберцовой кости в верхней трети при удлинении голени с антекурвационной деформацией перемещаемых отломков).

Определения «гипопластический» и «ишемический регенерат» не являются синонимами, это дефиниции различных клинических ситуаций [4, 30, 31].

Комплекс клинико-рентгенологических признаков «ишемического» регенерата:

а) преобладание 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.

Для гипопластического регенерата специфичным является один признак — преобладание площади диастаза над площадью регенерата. Регенерат, сформированный по гипопластическому типу, способен к органотипической перестройке без дополнительных вмешательств. При этом происходит замещение соединительнотканной прослойки новообразованной костной ткани, костные отделы смыкаются, регенерат компактизируется по периферии с формированием компактного слоя кости. После полной органотипической перестройки регенерат сохраняет дефект костной ткани, как правило, по периферии центральных отделов и приобретает форму «песочных» часов.

Заключение

Выполненный нами ретроспективный анализ результатов применения механического воздействия посредством компрессии и компактизации компрометированных distractionных регенератов свидетельствует о его эффективности и об отсутствии необходимости смены технологии остеосинтеза. Технология состояла из механического воздействия на «ишемический» регенерат дополнительной остеотомией удлиняемого отломка и дальнейшего дозированного ретроградного перемещения фрагмента с формированием нового distractionного регенерата, либо из дискретного, или одномоментного сближения концов отломков на высоту соединительнотканной прослойки с укорочением сегмента. Эффект стимуляции костеобразования и восстановления процессов органотипической перестройки «ишемического» distractionного регенерата был обеспечен его дозированной компактизацией.

Конфликт интересов: не заявлен.

Этическое одобрение: Все выполненные в исследованиях процедуры, вовлекающие паци-

ентов, проведены в соответствии с требованиями Хельсинской декларации пересмотра 2013 года. Формальное информированное согласие для данного типа исследования не требуется.

Финансирование: статья выполнена в рамках темы «Оптимизация лечебного процесса у больных с ортопедо-травматологической патологией, осложненной и неосложненной гнойной инфекцией, разработка новых патогенетически обоснованных способов хирургического лечения, направленных на комплексное восстановление анатомо-функционального состояния конечности, общего гомеостаза и стойкое подавление гнойно-воспалительных явлений» государственного задания на осуществление научных исследований и разработок ФГБУ «РНЦ „ВТО“ им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России.

Литература [References]

- Green S.A., Jackson J.M., Wall D.M., Marinow H., Ishkanian J. Management of segmental defects by the Ilizarov intercalary bone transport method. *Clin Orthop Relat Res.* 1992;(280):136-142.
- Tsuchiya H., Tomita K. Distraction osteogenesis for treatment of bone loss in the lower extremity. *J Orthop Sci.* 2003;8(1):116-124. DOI: 10.1007/s007760300020.
- Dumic-cule I., Pecina M., Jelic M., Jankolija M., Popek I., Grgurevic L., Vukicevic S. Biological aspects of segmental bone defects management. *Int Orthop.* 2015;39(5):1005-1011. DOI: 10.1007/s00264-015-2728-4.
- Azzam W., Atef A. Our experience in the management of segmental bone defects caused by gunshots. *Int Orthop.* 2016;40(2):233-238. DOI: 10.1007/s00264-015-2870-z.
- Tetsworth K., Paley D., Sen C., Jaffe M., Maar D.C., Glatt V. et al. Bone transport versus acute shortening for the management of infected tibial non-unions with bone defects. *Injury.* 2017;48(10):2276-2284. DOI: 10.1016/j.injury.2017.07.018.
- Venkatesh K.P., Modi H.N., Devmurari K., Yoon J.Y., Anupama B.R., Song H.R. 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):1612-1617. DOI: 10.1302/0301-620X.91B12.22418.
- Mishima K., Kitoh H., Iwata K., Matsushita M., Nishida Y., Hattori T., Ishiguro N. Clinical results and complications of lower limb lengthening for fibular hemimelia. *Medicine (Baltimore).* 2016;95(21):e3787. DOI: 10.1097/MD.0000000000003787.
- Nakano-Matsuoka N., Fukiage K., Harada Y., Kashiwagi N., Futami T. The prevalence of the complications and their associated factors in humeral lengthening for achondroplasia: retrospective study of 54 cases. *J Pediatr Orthop B.* 2017;26(6):519-525. DOI: 10.1097/BPB.0000000000000428.
- Konofaos P., Kashyap A., Ver Halen J. Biomedical approaches to improve bone healing in distraction osteogenesis: A current update and review. *Biomed Tech (Berl).* 2014;59(3):177-183. DOI: 10.1515/bmt-2013-0096.
- Lioudakis E., Kenaway M., Krettek C., Ettinger M., Jagodzinski M., Hankemeier S. Segmental transports for posttraumatic lower extremity bone defects: are femoral bone transports safer than tibial? *Arch Orthop Trauma Surg.* 2011;131(2):229-234. DOI: 10.1007/s00402-010-1129-9.
- DeCoster T.A., Gehlert R.J., Mikola E.A., Pirela-Cruz M.A. Management of posttraumatic segmental bone defects. *J Am Acad Orthop Surg.* 2004;12(1):28-38. DOI: 10.5435/00124635-200401000-00005.
- Xu K., Fu X., Li Y.M., Wang C.G., Li Z.J. A treatment for large defects of the tibia caused by infected nonunion: Ilizarov method with bone segment extension. *Ir J Med Sci.* 2014;183(3):423-428. DOI: 10.1007/s11845-013-1032-9.
- Borzunov D.Y. Long bone reconstruction using multilevel lengthening of bone defect fragments. *Int Orthop.* 2012;36(8):1695-1700. DOI: 10.1007/s00264-012-1562-1.
- Ozaki T., Nakatsuka Y., Kunisada T., Kawai A., Dan'ura T., Naito N., Inoue H. High complication rate of reconstruction using Ilizarov bone transport method in patients with bone sarcomas. *Arch Orthop Trauma Surg.* 1998;118(3):136-139. DOI: 10.1007/s004020050333.
- Rozbruch R.S., Weitzman A.M., Watson T.J., Freudigman P., Katz H.V., Ilizarov S. Simultaneous treatment of tibial bone and soft-tissue defects with the Ilizarov method. *J Orthop Trauma.* 2006;20(3):197-205.
- Aronson J. Ubytki kosci – aspekt biologiczny [Bone loss – biological aspect]. *Aktualnosci ortopedyczne.* 1995;1(3):148-156 (in Polish).
- Borzunov D.Y., Chevardin A.V. Ilizarov non-free bone plasty for extensive tibial defects. *Int Orthop.* 2013;37(4):709-714. DOI: 10.1007/s00264-013-1799-3.
- Попков Д.А. Способ В.И. Шевцова – А.В. Попкова – новый этап развития дистракционно-компрессионного остеосинтеза. *Гений ортопедии.* 1997;(4):49-50. Попков Д. [The method of V.I. Shevtsov – A.V. Popkov – a new step in the development of distraction-compression osteosynthesis]. *Genij Ortopedii [Orthopedics Genius].* 1997;(4):49-50 (in Russ.).
- Aronson J. Temporal and spatial increases in blood flow during distraction osteogenesis. *Clin Orthop Relat Res.* 1994;(301):124-131.
- Li R., Saleh M., Yang L., Coulton L. Radiographic classification of osteogenesis during bone distraction. *J Orthop Res.* 2006;24(3):339-347. DOI: 10.1002/jor.20026.
- Kojimoto H., Yasui N., Goto T., Matsuda S., Shimomura Y. Bone lengthening in rabbits by callus distraction. The role of periosteum and endosteum. *J Bone Joint Surg Br.* 1988;70(4):543-549.
- Isaac D., Fernandez H., Song H.R., Kim T.Y., Shyam A.K., Lee S.H., Lee J.C. Callus patterns in femur lengthening using a monolateral external fixator. *Skeletal Radiol.* 2008;37(4):329-334. DOI: 10.1007/s00256-007-0406-3
- Emara K.M., Ghafar K.A., Al Kersh M.A. Methods to shorten the duration of an external fixator in the management of tibial infections. *World J Orthop.* 2011;2(9):85-92. DOI: 10.5312/wjo.v2.i9.85.
- Aronson J. Basic science and biological principles of distraction osteogenesis. In: Rozbruch R.S., Ilizarova S. (eds.) *Limb lengthening and reconstruction surgery.* Informa : New York, 2007. pp. 19-42.
- Choi I.H., Chung C.Y., Cho T.J., Yoo W.J. Angiogenesis and mineralization during distraction osteogenesis. *J Korean Med Sci.* 2002;17(4):435-447. DOI: 10.3346/jkms.2002.17.4.435.
- Morgan E.F., Hussein A.I., Al-Awadhi B.A., Hogan D.E., Matsubara H., Al-Alq Z. et al. Vascular development during distraction osteogenesis proceeds by sequential intramuscular arteriogenesis followed by intraosteal angiogenesis. *Bone.* 2012;51(3):535-45. DOI: 10.1016/j.bone.2012.05.008.

27. Kanczler J.M., Oreffo R.O. Osteogenesis and angiogenesis: the potential for engineering bone. *Eur Cell Mater.* 2008; 15:100-114. DOI: 10.22203/eCM.v015a08.
28. Alzahrani M.M., Anam E.A., Makhdom A.M., Villemure I., Hamdy R.C. The Effect of altering the mechanical loading environment on the expression of bone regenerating molecules in cases of distraction osteogenesis. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2014;5:214. DOI: 10.3389/fendo.2014.00214.
29. Li R., Saleh M., Yang L., Coulton L. Radiographic classification of osteogenesis during bone distraction. *J Orthop Res.* 2006;24(3):339-347. DOI: 10.1002/jor.20026.
30. Shyam A.K., Singh S.U., Modi H.N., Song H.-R., Lee S.-H., An H. Leg lengthening by distraction osteogenesis using the Ilizarov apparatus: A novel concept of tibia callus subsidence and its influencing factors. *International orthopaedics.* 2009;33(6):1753-1759. DOI: 10.1007/s00264-008-0660-6.
31. Zhu G.-H., Mei H.-B., He R.-G., Liu K., Tang J., Wu J.-Y. Effect of distraction osteogenesis in patient with tibial shortening after initial union of Congenital Pseudarthrosis of the Tibia (CPT): A preliminary study. *BMC Musculoskeletal Disorders.* 2015;16:216. DOI: 10.1186/s12891-015-0680-5.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

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

Александр Леонидович Шастов — канд. мед. наук, научный сотрудник научной лаборатория клиники гнойной остеологии, ФГБУ «Российский научный центр „Восстановительная травматология и ортопедия“ им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Dmitry Yu. Borzunov — Dr. Sci. (Med.), deputy director for Scientific Work, Federal State Budgetary Institution, Russian Ilizarov Scientific Center «Restorative Traumatology and Orthopaedics», Kurgan; professor of the Department of Traumatology, Orthopaedics and Military Surgery, Tyumen State Medical University, Tyumen, Russian Federation

Alexander L. Shastov — Cand. Sci. (Med.), researcher, Scientific Laboratory of Purulent Osteology, Russian Ilizarov Scientific Center «Restorative Traumatology and Orthopaedics», Kurgan, Russian Federation