

## КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССОВ ОСТЕОГЕНЕЗА ДИСТРАКЦИОННОГО РЕГЕНЕРАТА У ДЕТЕЙ С ПОСЛЕДСТВИЯМИ ГЕМАТОГЕННОГО ОСТЕОМИЕЛИТА ПРИ УДЛИНЕНИИ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

Ю.Е. Гаркавенко, О.М. Янакова, А.Н. Бергалиев

*ФГУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт  
им. Г.И. Турнера» Минздравсоцразвития России,  
директор – д.м.н. профессор А.Г. Баиндурашвили  
Санкт-Петербург*

С помощью рентгенологического, радионуклидного и ультрасонографического методов исследования изучено течение костеобразовательных процессов в дистракционном регенерате при удлинении бедра у 115 детей с последствиями гематогенного остеомиелита проксимального и дистального метаэпифизов бедренной кости. Отмечено сохранение потенции к нормальному костеобразованию у детей с данной патологией. Формирование регенерата при восстановлении нижней конечности у детей сопровождается активным суммарным кровотоком и накоплением РФП в формирующейся костной ткани. Замедление активности костеобразовательных процессов в регенерате спустя 2,5–3,0 месяца после оперативного вмешательства объясняется некоторой потерей компенсаторных возможностей сосудистого русла в процессе дистракции и, как следствие, замедлением процессов тканевого метаболизма в новообразованной костной ткани.

**Ключевые слова:** гематогенный остеомиелит, дети, удлинение нижних конечностей, дистракция, остеогенез.

## A COMPLEX MONITORING OF OSTEOGENESIS OF THE DISTRACTION REGENERATE IN CHILDREN WITH THE SEQUELAE OF HEMATOGENOUS OSTEOMYELITIS IN LOWER LIMB LENGTHENING

Yu.E. Garkavenko, O.M. Yanakova, A.N. Bergaliev

With the help of X-ray, radionuclide and ultrasonographic examinations in children with sequelae of hematogenous osteomyelitis, the formation of the distraction regenerate was studied. Preservation of potency to the normal osteogenesis was observed. Formation of the osseous regenerate was accompanied by an active total blood flow and accumulation of radionuclides. Some retardation of bone formation after 2,5–3,0 months due to loss of compensatory capacity of the vascular bed during distraction and as a consequence of slowing the processes of tissue metabolism in the regenerate were observed.

**Key words:** hematogenous osteomyelitis, children, lower limb lengthening, distraction, osteogenesis.

Ограниченное число работ, в которых рассматриваются вопросы костеобразования при восстановлении длины нижней конечности у детей с последствиями гематогенного остеомиелита, а также противоречивость мнений о сроках формирования дистракционного регенерата при этой патологии обуславливают необходимость повторного обращения к этому вопросу. Ранее на основании изучения процессов остеогенеза в дистракционном регенерате при удлинении нижней конечности у детей мы не отметили значительных отклонений от среднестатистических сроков формирования новообразованной костной ткани [1].

Настоящее сообщение основывается на комплексном анализе течения процессов костеобразования в регенерате при удлинении бедра

у 115 детей в возрасте от 9 до 18 лет с укорочением нижней конечности, сформировавшимся после гематогенного остеомиелита проксимального – 75 (65,2%) или дистального – 29 (25,2%) метаэпифизов бедренной кости. У 11 (9,6%) детей имелось сочетанное поражение зон роста указанных отделов.

Восстановление длины нижней конечности выполняли путем удлинения бедра после стабилизации тазобедренного сустава. Для этой цели применяли аппарат Илизарова, спице-стержневой или стержневой аппараты. Остеотомию или кортикотомию с последующей ротационной остеоклазией бедренной кости выполняли из наружного доступа в средней или нижней трети бедра. Дистракцию темпом 1 мм/сутки проводили с 6-го дня послеоперационного периода до

выравнивания длины ног. Величина удлинения бедра составила от 4 до 12,5 см, что соответствовало 9,3–40,3% от исходной длины пораженного сегмента конечности. У ряда больных выполняли этапное удлинение конечности, которое было показано при значительных величинах ее укорочения.

Оценку формирования дистракционного регенерата проводили рентгенологическим, ультразвукографическим и радионуклидным методами исследования.

*Рентгенологическое исследование* предполагало: 1) изучение исходных поперечных размеров диафиза (метафиза) бедренной кости и ее кортикального слоя, а также структуры костной ткани в зоне предполагаемой остеотомии; 2) анализ формирования дистракционного регенерата, который основывался на оценке двух основных показателей: темпа и равномерности его созревания. Исследование проводили до и после начала удлинения пораженного сегмента конечности с интервалом 1 раз в месяц в периоды дистракции и фиксации.

В качестве прогностического теста при изучении темпа формирования регенерата использовали среднестатистические сроки наступления начального обызвествления (IIA стадия) и формирования первичной костной ткани (IIIA стадия) по классификации В.И. Садофьевой [4].

*Ультрасонографическое исследование* проведено 60 пациентам в возрасте от 9 до 17 лет на диагностической установке «Aloka-flexus SSD-1100» с использованием линейных сканеров с частотой 5,0–10,0 МГц. Оценку результатов проводили с использованием программы «Гистограмма», которая отображает интенсивность распространения ультразвуковой волны в исследуемом участке в цифровом и графическом выражении. Полученные данные сравнивали с показателями плотности костной ткани симметричного участка бедренной кости непораженной конечности, принимаемого за контроль. Для достоверности получаемых результатов первичное исследование и послеоперационный дистракционный мониторинг проводили в одном режиме.

Первичное обследование костной ткани пораженной и контралатеральной конечностей включало проведение качественной и количественной оценки бедренной кости в зоне предполагаемой остеотомии.

Качественная и количественная оценка состояния сосудистого русла пораженной и контралатеральной конечностей была основана на применении метода дуплексного электронного сканирования, основанного на эффекте Доплера.

Ультрасонографический контроль за формированием регенерата, а также состоянием мягкотканного компонента с качественной и количественной оценками кровотока проводили еженедельно, начиная с 3-го дня послеоперационного периода.

*Радионуклидное исследование*, основу которого составляет экстракорпоральная регистрация  $\gamma$ -квантов, излучаемых радиофармпрепаратом (РФП) по мере его фармакокинетики в организме, выполняли в виде 2-фазной остеосцинтиграфии. В качестве РФП применяли  $^{99m}\text{Tc}$ -технефор ( $T_{1/2} = 6,1$  ч), тетрафосфонат, являющийся синтетическим аналогом пирофосфата – естественного ингибитора функциональной активности остеокластов в процессе резорбции [5]. РФП вводили в локтевую вену в диагностических дозах с учетом возрастного понижающего коэффициента.

В I фазу оценивали интенсивность перфузии (статический кадр через 30–40 секунд после инъекции РФП), во II фазу – активность костного метаболизма (статическое измерение через 2 часа после инъекции).

При количественном анализе использовали коэффициенты относительной перфузии (КОП) и относительного накопления (КОН). Их вычисление осуществляли в виде процентного отношения уровней накопления в зоне регенерата и симметричном участке трубчатой кости контралатеральной конечности.

Было обследовано 14 детей, начиная с 15-го дня дистракционного периода ежемесячно. Общее количество скинтиграфических процедур, учитывая многократность проводимых обследований у одних и тех же пациентов (7 человек), составило 29. Из них 2 обследования было проведено во время мягкотканной стадии формирования регенерата, 6 процедур – на стадии обызвествления, 17 исследований – на стадии формирования первичной костной ткани и 4 – на стадии функционально оформленной костной ткани.

Для исследования использовали гамма-камеру «Digirad 2002<sup>tc</sup>» (USA) (рег. удостоверение МЗ РФ № 2002/704).

## Результаты и обсуждение

Рентгенологический анализ поперечных размеров диафиза (метафиза) бедренной кости и ее кортикального слоя в зоне предполагаемой остеотомии, проведенный у 36 пациентов, выявил у 26 (72,2%) детей их соответствие индивидуальной норме с колебанием в пределах 10% (табл. 1).

Таблица 1

**Рентгенологические размеры диафиза (метафиза) бедренной кости  
в зоне предполагаемой остеотомии, чел. (%)**

	Индивидуальная норма	Уменьшение толщины	Увеличение толщины	Всего
Поперечный размер диафиза	26 (72,2%)	8 (22,2%)	2 (5,6%)	36 (100%)
Толщина кортикального слоя	19 (52,8%)	17 (47,2%)	0	36 (100%)

В группе больных с уменьшением поперечного размера кости у 5 (13,9%) пациентов отмечался вариант с 20–30% дефицитом и у 3 (8,3%) – с 40%. Увеличение толщины кости отмечалось у 2 (5,6%) больных, но не более чем на 20%.

Как следует из представленной таблицы, толщина кортикального слоя бедренной кости в зоне предполагаемой остеотомии у 19 (52,8%) детей соответствовала индивидуальной норме. Из 17 (47,2%) пациентов с истончением кортикального слоя кости у 13 (36,1%) он был тоньше на 20–30% и у 4 (11,1%) – на 40%.

Структура костной ткани диафизов бедренной кости в зоне предполагаемой остеотомии у 20 (55,5%) детей соответствовала норме, у 10 (27,8%) выявлен остеопороз, у 6 (16,7%) на фоне остеопороза имелись признаки дистрофии костной ткани II–III стадии [3].

Таким образом, в большинстве наблюдений выраженных отклонений в анатомических характеристиках метадиафизарного отдела удлиняемой кости при последствиях гематогенного остеомиелита выявлено не было. Вместе с тем, у 47,2% пациентов имело место истончение кортикального слоя преимущественно на 20–30%, и только у 16,7% больных на этом фоне определялись достоверные признаки дистрофии костной ткани.

Формирование дистракционного регенерата на разных стадиях было изучено у 115 детей (табл. 2).

Таблица 2

**Средние сроки формирования дистракционного регенерата у детей с последствиями гематогенного остеомиелита при удлинении бедра в днях (M±m)**

Стадия формирования регенерата	Сроки, дни	Среднеквадратическое отклонение (σ)
I (n=17)	18,3±0,7	2,6
IIA (n=52)	27,6±1,4	9,3
IIБ (n=42)	51,1±2,1	13,1
IIIA (n=82)	64,0±2,0	17,4
IIIB (n=52)	118,4±3,5	24,2

p<0,01.

Проведенный анализ показал, что средние сроки формирования дистракционного регенерата на начальных стадиях при удлинении нижней конечности у детей с последствиями гематогенного остеомиелита соответствовали среднестатистическим срокам формирования костной мозоли при переломах трубчатых костей [2].

При анализе рентгенограмм 80 пациентов было отмечено, что равномерное формирование дистракционного регенерата имело место у 25 (31,25%) больных. Дефицит от 1/5 до 1/2 поперечного размера регенерата был выявлен у 55 (68,75%) обследованных пациентов при различной величине удлинения бедра. Примечательно, что замедленное созревание центрального отдела дистракционного регенерата имело место только у 5 (6,25%) больных, в то время как отставание в формировании латерального и переднего его отделов наблюдалось у 50 (62,5%).

Дефицит преимущественно латерального и переднего отделов регенерата, обусловленный замедлением процессов костеобразования, может быть объяснен нарушением питания вышеуказанных участков кости после отслоения надкостницы при выполнении остеотомии. Равномерное формирование дистракционного регенерата во всех случаях наблюдали после так называемой закрытой остеотомии, когда ее выполняли из разреза мягких тканей длиной до 1 см.

Ультрасонографические данные свидетельствовали о том, что на фоне уменьшения мышечной массы пораженного сегмента нижней конечности и частичного фиброзного перерождения мышечных волокон у 18 (30%) детей наблюдалось уменьшение поперечных размеров бедренной кости с истончением кортикального слоя в среднем на 20–30%. Исходные гемодинамические показатели имели незначительные колебания в пределах физиологически допустимых.

Ультрасонографический мониторинг, проведенный на 3–6-е сутки после оперативного вмешательства, позволил визуализировать диастаз между костными фрагментами. Он проявлялся участком пониженной акустической плотности между имевшими четкие контуры проксимальным и дистальным фрагментами бедренной кости.

На 10–14-е сутки distraction (16–20-е сутки после операции) у всех обследованных больных в проекции диастаза было отмечено появление гиперэхогенных сигналов с нечеткими контурами. Акустическая плотность диастаза между фрагментами бедренной кости была представлена значениями в диапазоне от 5 до 8,5 МЕ и соответствовала, по данным наших исследований, мягкотканному компоненту distractionного регенерата (I стадия формирования).

На 21–30-е сутки distraction (27–36-е сутки после операции) в проекции формирующегося регенерата определялась неоднородность акустической плотности с повышением ее значений в центральных отделах регенерата до 27,5 МЕ при средних значениях плотности 22,9 МЕ. Латеральные и медиальные участки проксимального и дистального фрагментов бедренной кости, отличавшиеся пониженной акустической плотностью и структурной неоднородностью, имели нечеткие контуры.

Показатели скорости артериального кровотока в магистральных сосудах пораженной конечности, по данным ультразвуковой доплерографии (УЗДГ), в эти сроки уменьшились на 35,7% и составили 0,18 м/с, имея исходные показатели до оперативного вмешательства равные 0,28 м/с.

На 35–46-е сутки distraction (41–52-е сутки после операции) участки повышенной акустической плотности, достигавшие значений 24,8–28,6 МЕ, распространялись не только на центральные, но и на медиальные отделы регенерата. Отмечалось сглаживание контуров латерального и медиального участков проксимального и дистального костных фрагментов.

Данные УЗДГ характеризовались увеличением показателей средней скорости кровотока в бедренной артерии на 14,3% по сравнению с предшествующим периодом и достигали 0,22 м/с.

К 52–66-м суткам distraction (58–72-е сутки после операции) у 44 из 60 пациентов (73,3%) отмечалось повышение неоднородной акустической плотности регенерата в среднем до 25,9 МЕ. В то же время у 18 (30%) детей было отмечено умеренное снижение акустической плотности регенерата в диапазоне от 15 до 22,7 МЕ. Значительного изменения средней скорости кровотока в бедренной артерии в этот временной интервал не наблюдалось.

На 70–85-е сутки distraction (76–91-е сутки после операции) помимо центральных и медиальных отделов регенерата участки повышенной неоднородной эхогенности распространялись и на латеральные отделы последнего. Подобный характер распространения повышенной акустической плотности в реге-

нерате может объясняться локализацией надкостницы, отслоенной во время оперативного вмешательства. Контуры регенерата приобретали четкость. Вместе с тем, значения акустической плотности регенерата имели тенденцию к снижению до 22,7 МЕ.

Средняя скорость кровотока в бедренной артерии у всех пациентов уменьшилась на 14,2% и составила в среднем 0,19 м/с.

К 90–120-м суткам distraction (96–126-е сутки после операции) регенерат у всех пациентов приобрел однородную структуру и четкие контуры. Средние значения его акустической плотности возросли в среднем до 27,5 МЕ, а у 18 (30%) пациентов с минимальными признаками дистрофии костной ткани достигли значений 30–32 МЕ.

В этот период, наряду с возрастанием акустической плотности регенерата, отмечалось увеличение скорости кровотока в магистральных сосудах пораженной конечности до 0,24 м/с с последующим постепенным возвращением показателя к исходным дооперационным значениям.

В ходе радионуклидного исследования на фоне повышенного уровня перфузии и костного метаболизма также было отмечено снижение показателей на 70–85-е сутки distraction (76–91-е сутки после операции) и отсутствие их достоверных колебаний на протяжении последующих месяцев (рис.).

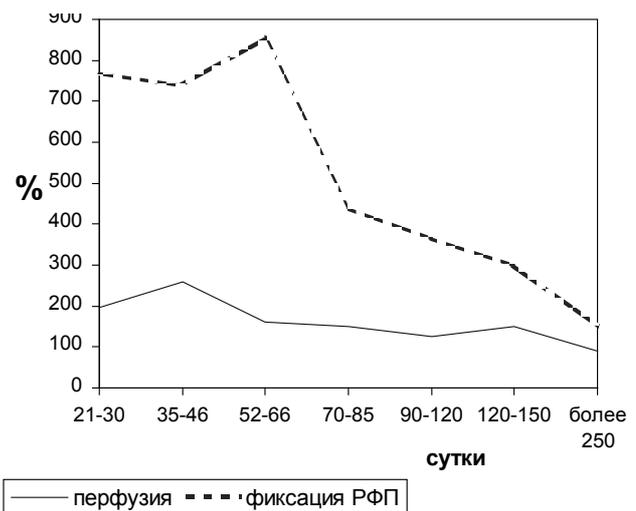


Рис. Динамика уровней суммарного кровотока (перфузии) и фиксации РФП в проекции distractionного регенерата

Высокий уровень перфузии и фиксации РФП в проекции регенерата, отмеченный на 21–30-е сутки distraction (27–36-е сутки после операции), можно объяснить клеточно-тканевой реакцией организма на оперативное вмешательство. Поэтому показатели, полученные в этот временной интервал, в дальнейшем не учитывались.

Наиболее выраженный уровень перфузионно-метаболических процессов в проекции distractionного регенерата наблюдался во II рентгенологической стадии его формирования, что в полной мере объясняется высоким уровнем костеобразовательных процессов и активной васкуляризацией в регенерате на фоне интенсивной минерализации (табл. 3).

## Выводы

Комплексный анализ результатов исследования позволил установить факт сохранения потенции к нормальному костеобразованию у детей с данной патологией, что подтверждается нормальными темпами формирования distractionного регенерата при удлинении нижней конечности.

Вариабельность динамики костеобразовательных процессов в различных отделах регенерата объясняется особенностями выполнения оперативного пособия и, прежде всего, остеотомии.

Формирование регенерата при восстановлении нижней конечности у детей сопровождается активным суммарным кровотоком и накоплением РФП в формирующейся костной ткани.

Таблица 3

**Средние показатели уровней суммарного кровотока и фиксации РФП в проекции регенерата в зависимости от рентгенологической стадии его формирования и сроков distraction, %**

Стадия	Показатель	Сутки							Средние значения
		21–30	35–46	52–66	70–85	90–120	120–150	Свыше 250	
I	КОП	160	–	–	–	–	–	–	160
	КОН	860	–	–	–	–	–	–	860
II	КОП	250	260	140	150	110	–	–	182
	КОН	880	860	700	420	350	–	–	642
III	КОП	180	260	180	150	140	150	–	176
	КОН	570	620	1010	460	380	300	–	556
IV	КОП	–	–	–	–	–	–	90	90
	КОН	–	–	–	–	–	–	150	150

КОП – коэффициент относительной перфузии;  
КОН – коэффициент относительного накопления.

Сравнительный анализ уровней суммарного кровотока и фиксации РФП в проекции регенерата в зависимости от рентгенологической стадии его формирования и сроков distraction свидетельствовал о том, что одна и та же рентгенологическая стадия формирования регенерата наблюдалась в различные сроки удлинения. При этом показатели суммарного кровотока и фиксации РФП в костной ткани на ранних стадиях формирования регенерата были выше и с течением времени уменьшались. Наиболее высокие показатели фиксации РФП, свидетельствующие об активности остеогенеза, определялись для каждой стадии в различные сроки: I – на 21–30-е сутки distraction, II – 35–46-е сутки distraction, III – 52–66-е сутки distraction, IV – спустя 8 месяцев после оперативного вмешательства.

Интенсивность этих процессов в полной мере зависит от сроков distraction и рентгенологической стадии формирования регенерата.

Замедление активности костеобразовательных процессов в регенерате спустя 2,5–3,0 месяца после оперативного вмешательства объясняется, с нашей точки зрения, некоторой потерей компенсаторных возможностей сосудистого русла в процессе distraction и, как следствие, замедлением процессов тканевого метаболизма в новообразованной костной ткани.

## Литература

1. Гаркавенко, Ю.Е. Характеристика костеобразовательных процессов в регенерате при удлинении бедра у детей после острого гематогенного остеомиелита проксимального метаэпифиза бедренной кости / Ю.Е. Гаркавенко, А.Н. Бергалиев, А.П.

- Поздеев, О.М. Янакова // Травматология и ортопедия России. — 2002. — № 3. — С. 24–28.
2. Садофьева, В.И. Особенности консолидации переломов костей голени в условиях неблагоприятной экологической обстановки / В.И. Садофьева, Н.В. Корнилов, Н.Н. Корнилов // Травматология и ортопедия России. — 1998. — № 2. — С. 58–61.
  3. Садофьева, В.И. Рентгенологическая диагностика распространенности и степени тяжести дистрофического процесса костной ткани / В.И. Садофьева // Стандарты технологии специализированной помощи детям при повреждениях и заболеваниях опорно-двигательного аппарата: материалы совещания детских ортопедов-травматологов России. — СПб., 1999. — Ч. 1. — С. 56–58.
  4. Фищенко, П.Я. Рентгенологическая картина формирования регенерата при дистракционном эпифизеолизе / П.Я. Фищенко, В.И. Садофьева, Л.Ф. Каримова, Н.П. Пилипенко // Ортопедия, травматология. — 1976. — № 11. — С. 29–33.
  5. Хэм, А. Гистология : пер. с англ. / А. Хэм, Д. Кормак. — М. : Мир, 1983. — Т. 3. — 293 с.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Гаркавенко Юрий Евгеньевич – к.м.н. ведущий научный сотрудник отделения костной патологии ФГУ «НИИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздравсоцразвития России

E-mail: yurijgarkavenko@mail.ru;

Янакова Ольга Михайловна – к.м.н. ведущий научный сотрудник отделения лучевой диагностики ФГУ «НИИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздравсоцразвития России;

Бергалиев Артур Нуралиевич – д.м.н. ведущий научный сотрудник, руководитель лабораторного отдела ФГУ «НИИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздравсоцразвития России.