

Оценка активности репаративного остеогенеза дистракционного регенерата большеберцовой кости с помощью современных ультразвуковых сканеров

Т. И. Менщикова, А. М. Аранович

Evaluation of reparative osteogenesis activity of tibial distraction regenerated bone using modern ultrasound scanners

T. I. Menshchikova, A. M. Aranovich

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. акад. Г. А. Илизарова» Минздравсоцразвития РФ, г. Курган (директор — д. м. н. А. В. Губин)

Использование современного ультразвукового сканера «Voluson-730 PRO» (Австрия) с доплеровским режимом и режимом трехмерной реконструкции значительно расширило представление о течении репаративного остеогенеза дистракционного регенерата большеберцовой кости у пациентов с субъективно низким ростом. Проведена качественная и количественная оценка репаративного остеогенеза (n = 67), оценена степень васкуляризации зоны удлинения. На основании полученных данных представлены критерии трех основных типов остеогенеза.

Ключевые слова: УСГ; типы репаративной активности; дистракционный регенерат.

The use of «Voluson-730 PRO» (Austria) modern ultrasound scanner with Doppler mode and the mode of three-dimensional reconstruction has significantly expanded the notion of reparative osteogenesis process of tibial distraction regenerated bone in patients with subjectively low height. The qualitative and quantitative evaluation of reparative osteogenesis has been made (n = 67), the degree of vascularization in lengthening zone has been assessed. The criteria of osteogenesis three main types are presented on the basis of the data obtained.

Keywords: Ultrasonography (USG); types of reparative activity; distraction regenerated bone.

Среди различных способов удлинения сегментов конечностей наибольшее предпочтение получил метод чрескостного дистракционного остеосинтеза (ЧДО), основанный на общебиологическом законе стимуляции и поддержания генеза костной ткани, а также сосудов, нервов, кожных покровов, мышц под влиянием напряжения растяжения [1]. В связи с этим актуальным является оценка состояния удлиняемого сегмента конечности и, в частности, активности репаративного остеогенеза [2–4]. Несмотря на постоянное совершенствование метода ЧДО при проведении удлинения сегментов нижних конечностей, именно структурное состояние дистракционного регенерата имеет решающее значение при определении сроков дистракции, фиксации и результата лечения.

В настоящее время в арсенале диагностических методов костной системы, кроме традиционной рентгенографии, имеются методы компьютерной томографии, МРТ, денситометрии и ультрасонографии (УСГ). Метод УСГ не несет лучевой нагрузки на пациента,

практически не имеет противопоказаний и может быть использован для динамического наблюдения, в частности, за структурным состоянием дистракционного регенерата. Благодаря появлению новых высокотехнологичных ультразвуковых приборов, в которых используются все достижения современных компьютерных технологий, УСГ становится самым подходящим методом для быстрой, доступной и информативной диагностики [5–7]. Такие преимущества метода УСГ, как доступность, отсутствие лучевой нагрузки на пациента, возможность комплексного динамического наблюдения за структурным состоянием костной и мягких тканей, степенью их васкуляризации в процессе лечения позволили ряду авторов применять его в клинической практике для оценки костного регенерата [8–11].

Цель исследования — оценка активности репаративного остеогенеза дистракционного регенерата большеберцовой кости с помощью современных ультразвуковых сканеров.

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

Ультразвуковые исследования выполнены на аппарате VOLUSON-730 PRO (Австрия) с использованием линейного и конвексного датчиков на 7,5 МГц. Обследованы пациенты с субъективно низким или не-

достаточным ростом (СНР) в возрасте от 16 до 47 лет (n = 67). Исследование дистракционного регенерата проводили в положении пациента лежа на спине через 10, 30, 40, 60 дней от начала дистракции, каждый ме-

сяц в процессе фиксации и в ближайшие 1–6 месяцев после снятия аппарата. За эталон при динамическом наблюдении принимали скан, получаемый при установке датчика над областью соответствующей остеотомии под углом 90°, ориентиром для которой служил постоперационный кожный рубец. Визуально оценивали качественное состояние регенерата: наличие диастаза, однородность экзогенного субстрата, наличие эндостальной и периостальной реакций, наличие гипозоногенных участков.

Количественная характеристика регенерата включала ширину, глубину экзопозитивной зоны регенерата, размеры гипо- и гиперэкзогенных участков.

При построении гистограмм в серошкальном режиме определяли показатель эксоплотности (ПЭХ, усл. ед.): ось X — значение оттенков серого цвета от 0 до 255; ось Y —

доля оттенка серого (в %), нормализованная относительно максимума; A — среднее значение; SD — стандартное отклонение; $A = \text{сумма (значение оттенка} \times \text{доля)} : \text{число оттенков}$. За контроль при ПЭХ принимали интактный участок большеберцовой кости в проксимальном отделе.

В режиме ЦДК (цветное доплеровское картирование) и ЭД (энергетический доплер) оценивали наличие сосудов в зоне удлинения и в окружающих тканях, измеряли их спектральные и скоростные характеристики. При сканировании в режиме 3D-реконструкции проводили дифференциальную диагностику распространения очагов различной эксоплотности (кистоподобных участков, зон активного остеогенеза). Для систематизации эхопризнаков дистракционного регенерата выделено три основных и четвертый — переходный тип репаративной активности.

РЕЗУЛЬТАТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Использование ультразвуковых сканеров в стандартном режиме (2D) позволяет дифференцировать проксимальный и дистальный концы материнской кости, которые визуализируются в виде линейной непрерывной гиперэкзогенной структуры, диастаза, заполненный экзопозитивным регенератом, имеющим зональное строение в зависимости от срока лечения малодифференцированной соединительнотканной прослойкой, линейными гиперэкзогенными структурами, соответствующими вновь образованным грубоволокнистым костным трабекулам (рис. 1). По мере созревания дистракционного регенерата происходила его органотипическая перестройка, изменялись акустические свойства. Так, гиперэкзогенные наслоения являлись зонами активного остеогенеза и приводили к появлению экзонегативных участков, вследствие чего уменьшалась высота экзопозитивной зоны всего регенерата. Эхопризнаки, выявленные в определенный срок дистракции, позволяли прогнозировать активность остеогенеза.

I тип репаративной ($n = 11$) активности у пациентов с СНР отмечен у подростков в возрасте от 14 до 18 лет, отдельных пациентов молодого возраста 20–25 лет. Для I типа остеогенеза характерно раннее появление линейных гиперэкзогенных структур в области диастаза, выраженная эндостальная реакция, ускоренное сужение экзопозитивной зоны регенерата в первый месяц, формирование крупных гиперэкзогенных фрагментов

по краю материнской кости (рис. 1, б), уменьшение глубины проникновения ультразвука. В зоне удлинения определялись участки с различной активностью остеогенеза, о чем свидетельствовал ПЭХ от 125 до 142 усл. ед. (рис. 2, а). Сканирование регенерата в дуплексном и триплексном режимах позволило выявить в начале дистракции единичные сосуды над областью удлинения в мягких тканях. К концу периода дистракции визуализировались сосуды диаметром от 0,07 см до 0,11 см в интермедиарной зоне регенерата (рис. 2, б).

Проведение полипозиционного сканирования (рис. 3, а, выполнено на четырех экранах) и сканирования в режиме 3D-реконструкции (рис. 3, б) через 60 дней фиксации позволило выявить по всем сканируемым плоскостям практически непрерывный контур кортикальной пластинки и отдельные участки сосудов, локализованные в интермедиарной зоне.

II тип течения репаративного процесса при удлинении костей голени выявляется практически во всех возрастных группах ($n = 49$). Установлено, что через 10–20 дней дистракции ПЭХ регенерата равнялся 117 ± 22 усл. ед. ($p \leq 0,05$). При данном типе отмечается постепенное зональное формирование костного регенерата, увеличение значения ПЭХ. Использование триплексного режима сканирования позволило дифференцировать эксоплотные фрагменты, сосуды и их спектральные и скоростные характеристики (рис. 4, а). По данным дуплексного сканирования, через два месяца дистракции между эксоплот-

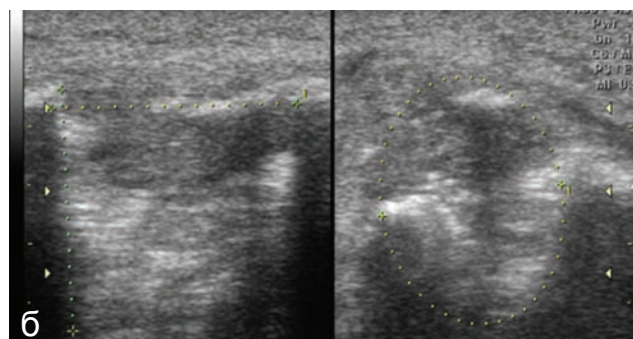
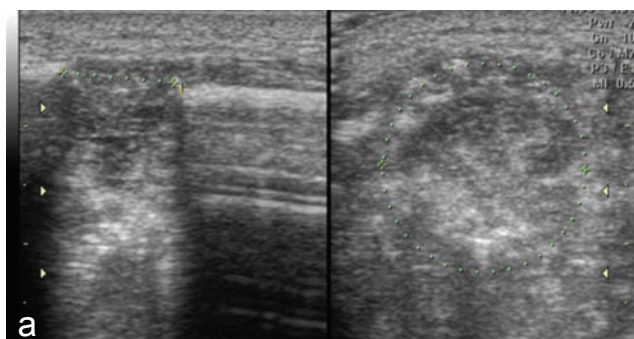


Рис. 1. Сонограмма дистракционного регенерата большеберцовой кости пациентки Л., 23 лет. Диагноз: субъективно недостаточный рост — 143 см (2D-режим): а — дистракция — 10 дней; ширина экзопозитивной зоны регенерата — 1,25 см; объем регенерата — 1,82 см³; б — дистракция — 43 дня; ширина экзопозитивной зоны регенерата — 2,09 см; объем регенерата — 2,06 см³

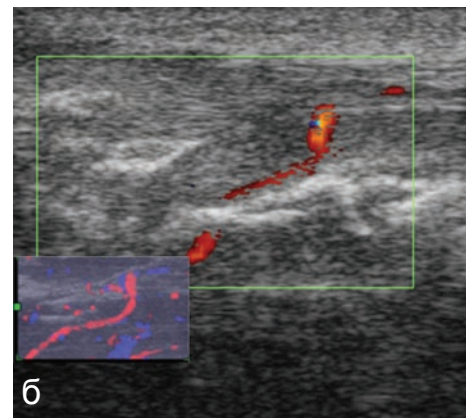
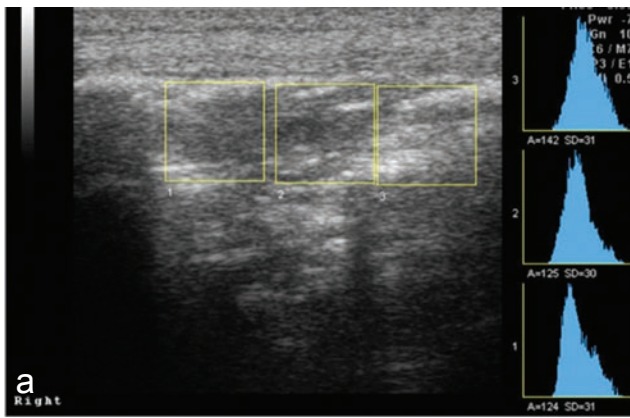


Рис. 2. Сонограмма дистракционного регенерата большеберцовой кости пациентки Т., 29 лет. Диагноз: субъективно недостаточный рост — 143 см (2D-режим). Дистракция 60 дней: а — $ПЭХ_1$ (усл. ед.) = 124; $ПЭХ_2$ = 125; $ПЭХ_3$ = 142 — показаны различные участки регенерата; б — диаметр сосудов — 0,105 см, 0,092 см, 0,069 см

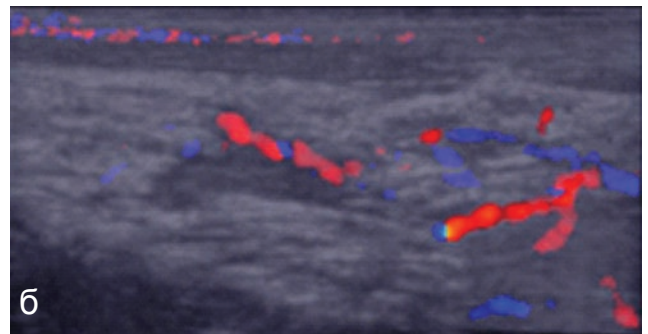
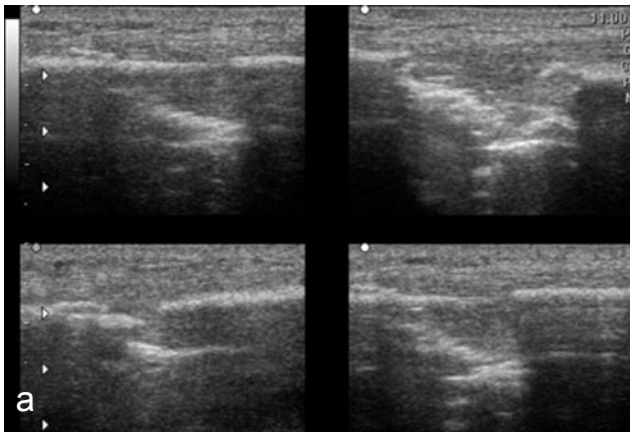


Рис. 3. Сонограмма дистракционного регенерата большеберцовой кости пациентки Т., 29 лет. Диагноз: субъективно недостаточный рост — 143 см. Фиксация 60 дней: а — полипозиционное сканирование дистракционного регенерата; б — сформированная кортикальная пластинка и участки сосудов, доступные визуализации

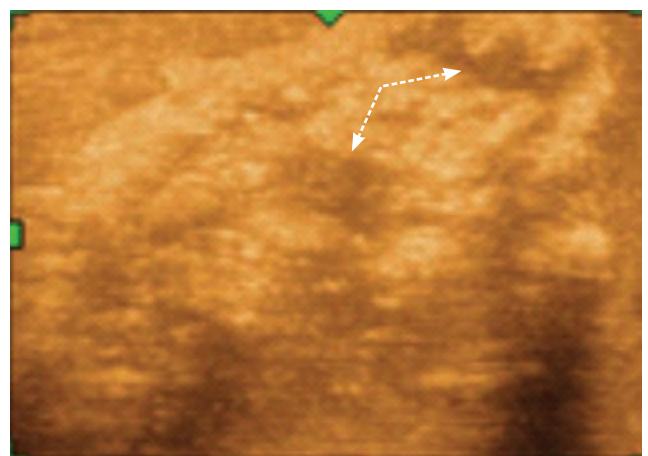
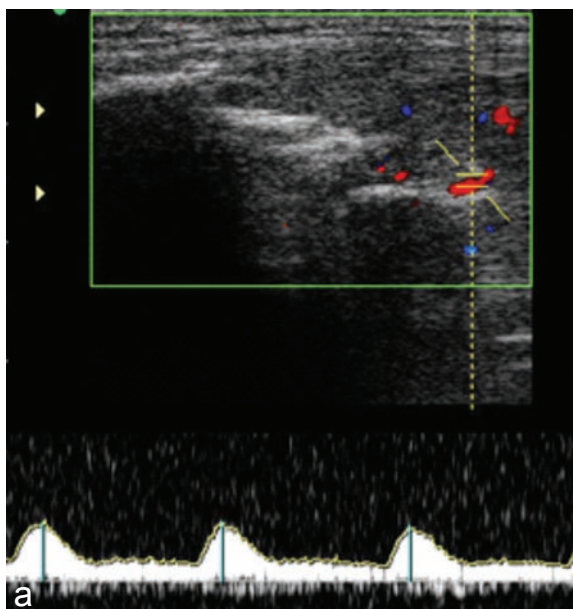


Рис. 4. Сонограмма дистракционного регенерата большеберцовой кости пациентки Т., 29 лет. Диагноз: субъективно недостаточный рост — 143 см: а — период дистракции 60 дней; показатели периферических индексов: $PI = 3,93$; $RI = 1,0$; б — период фиксации 65 дней; 3D-режим: эхоплотные глыбки и фрагменты незрелой соединительной ткани

ными фрагментами в интермедиарной зоне регенерата появлялись разрастающиеся веточки артерий диаметром 0,04–0,06 см. Через 50–60 дней фиксации при сохранении звукопроводимости регенерата между вновь образованными костными трабекулами визуализировались сосуды диаметром 0,12–0,25 см с периферическими индексами $PI = 3,35 \pm 0,09$ и $RI = 1 \pm 0,04$ ($p \leq 0,05$), что соответствовало достаточно зрелым сосудам и косвенно свидетельствовало о зрелости дистракционного регенерата. Выраженная васкуляризация в зоне удлинения соответствовала первичному ангиогенному остеогенезу.

На рисунке 4, б представлена сонограмма регенерата, выполненная в режиме 3D-реконструкции, на которой пунктирной стрелкой показаны участки незрелой соединительной ткани средней и низкой эхоплотности через 60 дней фиксации.

III тип репаративной активности ($n = 7$) у пациентов с СНР встречался, как правило, у обследуемых старше 35 лет (9 %), хотя единичные случаи выявлены и в более молодом возрасте (2 %). При данном типе активности у пациентов с СНР в первый месяц дистракции практически отсутствовали гиперэхогенные структуры, визуализировался гомогенный субстрат или в интермедиарной зоне регенерата уже в первые 10–15 дней дистракции дифференцировались мелкие гипозоногенные участки размером $0,05 \pm 0,02$ см с ПЭХ 44 ± 12 усл. ед. ($p \leq 0,05$). Увеличение размеров гипозоногенных участков по мере дистракции

до 50–70 % от всей зоны удлинения свидетельствовали о неблагоприятном течении репаративной активности дистракционного регенерата. В результате дистракционный регенерат на протяжении всего периода дистракции и 1–2 месяца в период фиксации оставался эхопозитивным (визуализации была доступна достигнутая величина удлинения); эхоплотность регенерата в период дистракции и в начале фиксации была снижена и составляла 30–40 % от эхоплотности материнской кости.

Увеличение размера гипозоногенного очага приводило к снижению по сравнению с предыдущим обследованием ПЭХ регенерата на 16,3 % ($p \leq 0,05$), ПЭХ самого гипозоногенного очага — на 25 % ($p \leq 0,05$). У всех обследованных пациентов гипозоногенные зоны были аваскулярны, визуализировались единичные веточки ($RI = 0,56$, $PI = 0,93$), отходящие от *a. tibialis anterior*, которые располагались в непосредственной близости с гиперэхогенными фрагментами. Режим 3D-реконструкции является особенно актуальным при оценке размеров и локализации гипозоногенных кистоподобных очагов (рис. 5), так как позволяет на протяжении всего периода лечения оценить динамику их размеров. Динамика показателя эхоплотности в процессе дистракции и фиксации представлена на рисунке 6.

На протяжении всего периода исследований осуществляли верификацию данных УСГ по данным рентгенографии. Проведенные исследования показали не-

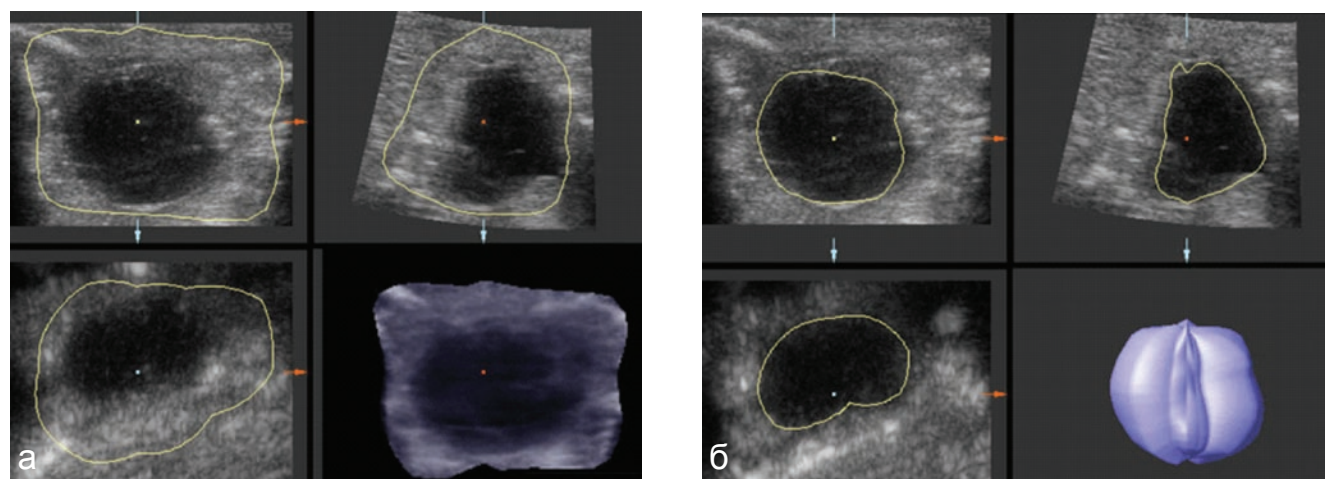


Рис. 5. Сонограмма дистракционного регенерата большеберцовой кости пациентки Т., 29 лет. Диагноз: субъективно недостаточный рост — 143 см. Этап — фиксация 45 дней, величина удлинения 6 см; (3D-режим): а — объем дистракционного регенерата = 8,1 см³; б — объем гипозоногенного кистоподобного участка дистракционного регенерата = 1,72 см³

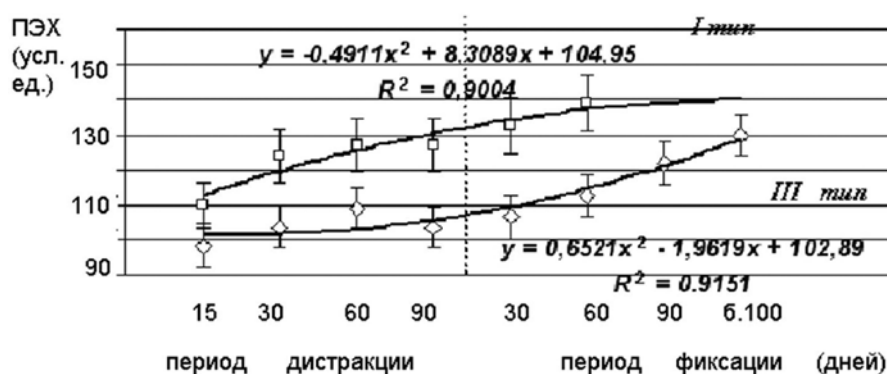


Рис. 6. Динамика показателя эхоплотности в процессе дистракции и фиксации у пациентов с СНР при I и III типе репаративной активности дистракционного регенерата большеберцовой кости ($M \pm m$)

обходимость сочетанного применения методов рентгенографии и метода УСГ при контроле за структурным состоянием дистракционного регенерата большеберцовой кости. Метод УСГ имеет несомненные преимущества в период дистракции, когда регенерат является

эхопозитивным практически на всем протяжении и позволяет оценить его структурное состояние, выявить эхопризнаки, соответствующие определенному уровню остеогенной активности, и своевременно вносить необходимые коррективы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование современного режима 3D-реконструкции позволило получить не только волюметрическую информацию о дистракционном регенерате, но и многоплоскостные срезы исследуемых структур, в том числе и фронтальные, что позволяло детально и с большей точностью (по сравнению с 2D-сканированием) оценивать структурное состояние всей зоны удлинения, с определением преобладания очагов высокого и низкого остеогенеза. Особенно эффективным является применение метода 3D-реконструкции при оценке патологического регенерата с одним или несколькими гипопозогенными очагами. Определение объема всего регенерата и локальных гипопозогенных участков в динамике проводимого лечения дает четкое представление об индивидуальном уровне репаративной активности и позволяет своевременно провести необходимые лечебные мероприятия.

Сканирование дистракционного регенерата с помощью ЭД и ЦДК позволило установить, что через 10–20 дней дистракции в зоне удлинения в обеих исследуемых группах визуализировались единичные сосуды, как правило, у проксимального и дистального концов материнской кости с низкими периферическими индексами, единичные сосуды в интермедиарной зоне регенерата не имели спектральных и скоростных характеристик.

По мере созревания дистракционного регенерата сосуды артериального и венозного типа визуализирова-

лись на протяжении; увеличение периферических индексов косвенно свидетельствовало о зрелости регенерата. При I типе репаративной активности к концу периода дистракции и в начале периода фиксации визуализации были доступны сосуды артериального типа с высокими периферическими индексами. При II типе остеогенеза визуализировались различные сосуды, имеющие и низкие, и высокие показатели периферических индексов. На протяжении всего периода дистракции и фиксации в регенерате визуализировались как вновь образованные сосуды, так и ветви, отходящие от *a. tibialis anterior*.

Таким образом, использование в клинической практике современного ультразвукового сканера «Voluson-730 PRO» с доплеровским режимом и режимом трехмерной реконструкции значительно расширило представление о течении репаративного остеогенеза, а динамическое наблюдение за структурным состоянием дистракционного регенерата в различных возрастных группах позволило выявить эхопризнаки, характерные для определенного типа остеогенеза. Комплексное УСГ-обследование дистракционного регенерата позволило получить информацию о его клинико-морфологическом состоянии. Выявленные при каждом обследовании данные соответствовали тем физиологическим процессам, которые происходили в дистракционном регенерате.

ЛИТЕРАТУРА

- Илизаров Г. А., Щуров В. А. Влияния напряжения растяжения на биомеханические свойства мышц, их кровоснабжение и рост голени // Физиология человека. 1988. Т. 14, № 1. С. 26–32.
- Рентгенологическая динамика репаративного остеогенеза при билочальном дистракционном остеосинтезе врожденно укороченного бедра // А. В. Попков, С. А. Аборин, Э. А. Гореванов, О. В. Климов // Гений ортопедии. 2003. № 1. С. 64–68.
- Шевцов В. И., Ерофеев С. А., Шрейнер А. А. Рентгенологическая динамика формирования дистракционного регенерата при удлинении конечности в условиях восьмикратной дробности дистракции // Гений ортопедии. 2003. № 2. С. 5–9.
- Менщикова Т. И., Диндиберя Е. В., Аранович А. М. Особенности формирования дистракционного регенерата большеберцовой кости в процессе удлинения голени у больных ахондроплазией // Гений ортопедии. 2003. № 1. С. 54–59.
- Зубарев А. В., Гажонова В. Е., Долгова И. В. Ультразвуковая диагностика в травматологии: практ. руководство / под ред. А. В. Зубарева. М., 2003. 176 с.
- Долганова Т. И., Менщикова Т. И. Ультразвуковая диагностика дистракционного регенерата (обзор литературы) // Дальневосточ. мед. журн. 2002. № 1. С. 98–101.
- Monitoring of fracture calluses with color Doppler sonography / G. Caruso [et al.] // J. Clin. Ultrasound. 2000. Vol. 28, No. 1. P. 20–27.
- Современная ультразвуковая диагностика в травматологии / В. А. Зубарев, А. П. Николаев, И. В. Долгова, А. Ф. Лазарев // Мед. визуализация. 1999. № 1. С. 11–20.
- Ультрасонография костного регенерата при нормальной остеогенной активности у пациентов с косметической коррекцией роста / Т. И. Менщикова, А. М. Аранович, К. И. Новиков, Е. В. Диндиберя // Гений ортопедии. 2003. № 4. С. 27–31.
- Менщикова Т. И., Новиков К. И., Аранович А. М. Ультрасонографические особенности структурного состояния костного регенерата при высокой остеогенной активности у пациентов с косметической коррекцией роста // Гений ортопедии. 2003. № 4. С. 31–35.
- Ермак Е. М. Возможности ультразвуковой диагностики при чрескостно-дистракционном остеосинтезе по Илизарову // Ультразвуковая и функц. диагностика. 2000. № 1. С. 83–88.

Рукопись поступила 02.12.09.

Сведения об авторах:

- Менщикова Татьяна Ивановна — ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г. А. Илизарова» Минздравсоцразвития РФ, в. н. с. лаборатории функциональных исследований, д. б. н.
- Аранович Анна Майоровна — ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г. А. Илизарова» Минздравсоцразвития РФ, г. н. с. лаборатории коррекции деформаций, удлинения и замещения дефектов конечностей, д. м. н., профессор.