

УДК 616.718.5/6-001.5-08:612.13

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕЧЕНИЯ РЕПАРАТИВНОГО ПРОЦЕССА ПРИ ОПЕРАТИВНОМ ЛЕЧЕНИИ ПЕРЕЛОМОВ КОСТЕЙ ГОЛЕНИ

В. В. Писарев*¹, кандидат медицинских наук,
А. В. Алейников², доктор медицинских наук,
Э. В. Тихомолова³,
И. В. Васин³

¹ ГБОУ ВПО «Ивановская государственная медицинская академия» Минздрава России, 153012, Россия, г. Иваново, Шереметевский просп., д. 8

² ГБОУ ВПО «Нижегородская государственная медицинская академия» Минздрава России, 603126, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Родионова, д. 190

³ ОБГУЗ «Ивановский областной госпиталь для ветеранов войн», 153002, Россия, г. Иваново, ул. Демидова, д. 9

РЕЗЮМЕ С помощью ультразвукового метода изучена зона регенерации у 90 человек с переломами костей голени. У 40 пациентов выполнялся остеосинтез пластинами, у 42 – остеосинтез стержнями с блокированием. У 7 пациентов наблюдалась замедленная консолидация в зоне перелома. Применялись В-режим сканирования для оценки состояния мягких тканей и регенерата, режимы цветового доплеровского картирования и энергетической доплерографии для оценки состояния кровотока в зоне интереса. Исследования проводились на 5-е и 10-е сутки, спустя 1, 2, 3, 4 и 5 месяцев после операции. Установлено, что использование комплексного метода ультразвуковой диагностики при оперативном лечении переломов костей голени позволяет оценить этапы формирования костного регенерата на ранних рентгенонегативных стадиях, получить информацию о состоянии кровотока в зоне повреждения и дать оценку его интенсивности. Применение УЗИ на ранних этапах костного сращения дает возможность прогнозировать сроки заживления перелома.

Ключевые слова: перелом, голень, остеосинтез, ультразвуковое исследование, регенерат.

* Ответственный за переписку (corresponding author): e-mail: drpisarev@mail.ru.

Проблема изучения состояния тканей в зоне перелома представляет интерес, поскольку позволяет прогнозировать течение посттравматического периода и возможные осложнения [2, 3, 7]. Изменение кровоснабжения в зоне регенерата на этапах репарации перелома занимает ведущее место среди факторов, способствующих костному сращению, и является определяющим в его прогнозировании [1, 4, 5, 6, 8]. Для полу-

чения информации о состоянии мягких тканей, расположении костных отломков в месте перелома наиболее широко используется ультразвуковое исследование (УЗИ) [2, 3, 7]. Применение цветового доплеровского картирования (ЦДК) и энергетической доплерографии (ЭД) позволяет определить топографию, состояние и параметры кровотока в зоне регенерации и магистральных сосудах [1, 3, 8].

ULTRASOUND DIAGNOSIS OF REPARATIVE PROCESS COURSE IN OPERATIVE TREATMENT OF CRUS BONES FRACTURES

Pisarev V. V., Aleinikov A. V., Tikhomolova E. V., Vasin I. V.

ABSTRACT Regeneration zone in 90 persons with crus bones fractures was examined by ultrasound technique. 40 patients underwent osteosynthesis by plates, 42 patients – osteosynthesis by rods with blocking. 7 patients demonstrated delayed consolidation in fracture zone. Scanning B-regime was used for evaluation of soft tissues status and regenerate; regimes of Doppler color drawing and energy dopplerography were used for evaluation of blood flow in the zone of interest. The examinations were done on 5th and 10th days, 1st, 2nd, 3rd, 4th and 5th months after operations. It was determined that the usage of ultrasound diagnosis in operative treatment in crus bones fractures allowed to evaluate the stages of bone regenerate formation at early stages of fractures, to get information on blood flow in injury zone and to estimate its intensity. Ultrasound examination at early stages of bone knitting consolidation allowed to predict fracture healing terms.

Key words: fracture, crus, osteosynthesis, ultrasound examination, regenerate.

Цель работы – исследование динамической эхографической картины репаративного процесса при различных методах оперативного лечения диафизарных переломов костей голени.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Базой исследования стало отделение функциональной диагностики ОБУЗ «Ивановский областной госпиталь для ветеранов войн» на ультразвуковом аппарате «Тошиба 660А» (Япония). Сканирование проводилось в режиме реального времени на 5-е и 10-е сутки, через 1, 2, 3, 4 и 5 месяцев после операции. Использовалось полипозиционное изучение места перелома, что обуславливало получение полной информации о травмированной конечности и позволяло визуализировать сопоставление костных отломков по всему периметру кости [2]. Применялись широкополосные линейные датчики с частотой сканирования 5–12 МГц.

Вначале осуществляли общую сонографическую оценку поврежденной области: в В-режиме определяли наличие или отсутствие отека, гематом, разрыва мышц). Оценивались сопоставление и количество костных отломков (наличие диастаза, интерпозиции мягких тканей), измерялись размеры отломков.

Далее изучалось состояние гемодинамики в зоне остеогенеза, датчик при этом сначала располагался на передней поверхности перпендикулярно кости над уровнем повреждения в поперечной, продольной и косой плоскостях. Затем постепенно его перемещали на медиальную, заднюю и латеральную поверхности для изучения всей зоны репарации. В каждом положении поочередно использовались 2 режима, ЦДК и ЭД, что позволяло оценивать кровоток в зоне повреждения. Процесс ангиогенеза в зоне внимания оценивался по наличию и количеству сосудистых сигналов на единицу площади в 4 см^2 .

Результаты, полученные с помощью ультразвука, сравнивали с аналогичными данными здоровой конечности.

Обследовано 90 пациентов с диафизарными переломами костей голени. У 41 (средний возраст – $43,1 \pm 1,8$ года; 87% мужчин) выполнялась открытая репозиция – остеосинтез большеберцовой кости пластиной LC-DCP, у 42 (средний возраст – $41,2 \pm 2,3$ года; 83% мужчин) – закрытая репозиция – остеосинтез стержнем с блокированием без рассверливания костномозгового канала. У 4 пациентов при внутрикостном и у 3 при на костном остеосинтезе сроки сращения переломов были больше, чем в исследуемых груп-

пах, в 1,5–2 раза. Следовательно, у 7 обследованных отмечалась замедленная консолидация перелома.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При УЗИ неповрежденной голени мягкие парасальские ткани имели среднюю эхоплотность, были однородны, хорошо дифференцировались. Кожа визуализировалась в виде гиперэхогенной гомогенной линейной структуры. Подкожно-жировой слой имел пониженную эхоплотность и неоднородную структуру с чередующимися гиперэхогенными тонкими волокнами. Эхогенность и толщина подкожно-жировой клетчатки варьировала. Мышечная ткань характеризовалась пониженной эхоплотностью и визуализировалась как разделенная множеством гиперэхогенных соединительнотканых прослоек, имела перистую структуру. Прослойки постепенно переходили в сухожильную часть мышц. Надкостница не просматривалась. Поверхность большеберцовой кости определялась в виде яркой непрерывной гиперэхогенной линейной четкой структуры, дающей дистальную акустическую тень.

При ультразвуковой ангиографии в режиме ЭД визуализировалась картина нормального кровотока, соответствующая области исследования. При ЦДК регистрировались сосуды парасальских мягких тканей, имеющие сформированную сосудистую стенку с высокими индексами пульсативности и резистентности.

Первое исследование зоны перелома большеберцовой кости проводилось на 5-е сутки после операции. У всех обследованных отмечалась прерывистость гиперэхогенного кортикального слоя кости размером до 3 мм по всей линии перелома. Смещения отломков не наблюдалось. Визуализировались изменения со стороны мягких тканей в виде отека подкожно-жировой клетчатки, проявляющегося утолщением и неоднородностью структуры, появлением участков пониженной эхогенности на фоне повышения эхогенности подкожно-жирового слоя по сравнению с симметричным участком здоровой конечности. Гематомы в зоне повреждения не визуализировались. Металлоконструкции просматривались в виде яркой гиперэхогенной структуры линейной формы с четкими ровными контурами. В режиме цветовой ангиографии визуализировались мелкие сосуды с артериальным и венозным типом кровотока. Количество лоцируемых сосудов, в которых имелась возможность оценить кровоток, доходило до 2 на единицу площади ($1,250 \pm 0,538$ на единицу площади). Максимальная скорость кровотока (V_{max}) составляла $18,40 \pm 0,79 \text{ см/с}$, индекс рези-

стентности (R_i) – $0,980 \pm 0,076$, индекс пульсативности (P_i) – $4,430 \pm 0,329$. В параоссальных тканях регистрировалось усиление сосудистого рисунка, характерное для воспалительной реакции.

На 10-е сутки после операции при нормальном течении репаративного процесса ультразвуковая картина в В-режиме в зоне перелома была аналогична наблюдавшейся на 5-е сутки. При ультразвуковой ангиографии количество сосудов на единицу площади в зоне перелома увеличилось на 100% и составило $2,56 \pm 0,40$ ($p < 0,05$). Показатели доплерографии: $V_{\max} - 13,90 \pm 0,88$ см/с, $R_i - 0,590 \pm 0,055$, $P_i - 1,390 \pm 0,212$. Уменьшение показателей кровотока в зоне перелома на 10-е сутки по сравнению с 5-ми ($p < 0,01$) свидетельствовало об умеренной зрелости вновь образованных сосудов. Снижение сосудистого сопротивления в зоне повреждения можно рассматривать как положительный момент в формировании первичного костного сращения, направленный на увеличение кровотока в зоне регенерации. Таким образом, в области повреждения развивается гиперемия на фоне общего увеличения количества сосудов в зоне регенерации.

Спустя 1 месяц с момента операции происходит постепенное восстановление нормальной эхоструктуры мягких тканей, уменьшается отек, края костных отломков сглаживаются, зона диастаза уменьшается, в ней лоцируется небольшое количество гиперэхогенных сигналов, что свидетельствует о начале формирования интермедиального сращения. ЦДК показывает, что продолжается увеличение количества сосудов – на 84% по сравнению с 10-ми сутками ($4,710 \pm 0,272$, $p < 0,01$). V_{\max} составляет $13,00 \pm 0,77$ см/с, $P_i - 1,820 \pm 0,277$, $R_i - 0,740 \pm 0,065$. Полученные данные свидетельствуют о продолжающемся формировании сосудистой сети в зоне регенерации и появлении признаков костного сращения.

Через 2 месяца расстояние между костными отломками по-прежнему сокращается, а эхогенность зоны перелома увеличивается. При доплерографии регистрируется развитая сосудистая сеть с большим количеством сосудов на единицу площади – $5,410 \pm 0,398$, V_{\max} составляет $12,40 \pm 0,88$, $R_i - 0,850 \pm 0,031$, $P_i - 3,04 \pm 0,28$. Сохраняющийся рост количества сосудов и увеличение эхогенности мозоли свидетельствуют о продолжающемся процессе репарации.

На 3-м месяце лечения диастаз между отломками не визуализируется, отмечается неровность кортикального слоя, имеется одинаковая плотность кости по всей изучаемой поверхности. Происходит снижение количества лоцируемых сосудов до $3,540 \pm 0,584$ ($p < 0,01$) на фоне по-

вышения их периферического сопротивления ($R_i - 0,860 \pm 0,032$; $P_i - 3,430 \pm 0,429$), что говорит о наличии сформированной сосудистой стенки. В некоторых случаях при УЗИ зоны перелома отмечалось наличие признаков периостальной мозоли. Она визуализировалась в виде периостальной гиперэхогенной структуры линейной формы, перекрывающей зону перелома и распространяющейся в дистальном и проксимальном направлении.

Через 4 месяца наблюдения на всем протяжении кости визуализируется непрерывная гиперэхогенная полоса с дистальной акустической тенью. При доплерографии регистрируются единичные сосуды ($2,140 \pm 0,514$), питающие эту зону с высоким периферическим сопротивлением ($R_i - 0,960 \pm 0,029$; $P_i - 4,58 \pm 0,45$).

На 5-м месяце ультразвуковая картина аналогична таковой на 4-м месяце. Количество сосудов значительно уменьшается ($1,270 \pm 0,033$), регистрируются единичные пиксели ($R_i - 0,950 \pm 0,032$; $P_i - 4,750 \pm 0,534$).

При остеосинтезе стержнями на 5-е сутки после операции при УЗИ зоны перелома большеберцовой кости отмечается прерывание гиперэхогенной линии (кортикальный слой кости) ступенчатой формы. Зона диастаза визуализируется в виде гипоехогенного линейного участка неправильной формы. Края костных отломков острые с четкими контурами, диастаз между ними доходит до 2 см. При оскольчатых переломах между отломками имеются гиперэхогенные включения размером до 30 мм, неправильной формы, характерные для мелких костных фрагментов. Наблюдаются изменения структуры мягких параоссальных тканей в виде их утолщения и неоднородности, отек подкожно-жировой клетчатки. У всех пациентов имеются гематомы в зоне повреждения и в межмышечном пространстве. Они представлены однородными гипо- и анэхогенными зонами без четких границ, с неровными контурами. При ЦДК кровотока регистрируется выше и ниже зоны перелома, лоцируются единичные сосуды. Они имеют высокие V_{\max} ($17,20 \pm 0,79$ см/с), R_i ($0,970 \pm 0,376$) и P_i ($4,630 \pm 0,329$) по сравнению со всеми последующими наблюдениями. В области гематомы сосудистые сигналы не регистрируются.

На 10-е сутки линия перелома прослеживается по всей длине, отломки имеют четкие края. В межотломковом пространстве регистрируются гипоехогенные образования без четких границ. Количество сосудов на единицу площади значительно увеличивается – на 250% и составляет $3,650 \pm 0,308$ ($p < 0,01$). Показатели кровотока до-

стоверно уменьшаются по сравнению с 5-ми сутками ($V_{\max} - 11,70 \pm 1,09$ см/с; $Ri - 0,660 \pm 0,116$; $Pi - 1,64 \pm 0,34$) ($p < 0,01$), что свидетельствует о незрелости сосудистой стенки вновь образующейся сосудистой сети.

К концу 1-го месяца после операции края костных отломков сглаживаются, щель перелома прослеживается по всей длине перелома, ширина её уменьшается. В зоне перелома формируется костно-хрящевая мозоль однородной гипозоногенной структуры с большим количеством гиперэхогенных включений, которая располагается над костными фрагментами и межотломковой щелью, имеет форму муфты. Подкожно-жировая клетчатка восстанавливает свою эхогенность. При УЗДГ отмечается локальное усиление кровотока в зоне внимания с появлением большого количества артериальных сосудов ($6,000 \pm 0,389$) ($p < 0,01$). Показатели кровотока по этим сосудам аналогичны таковым на 10-е сутки. Как видим, на данном сроке лечения начинается формирование периостальной мозоли, увеличивается её васкуляризация.

На 2-м месяце щель перелома прослеживается в некоторых участках. В этот период продолжается формирование регенерата. Он увеличивается в размерах, перекрывая зону перелома в большинстве участков. Структура регенерата приобретает повышенную эхогенность, количество гиперэхогенных сигналов в нем увеличивается. Количество сосудов на единицу площади продолжает возрастать и становится максимальным по сравнению с остальными сроками наблюдения ($6,420 \pm 0,259$). Показатели гемодинамики в сосудистой сети значимо не отличаются от таковых в 1-й месяц, что свидетельствует о незрелости сосудистой стенки вновь образованных сосудов в зоне регенерата.

На 3-м месяце лечения в В-режиме щель перелома не прослеживается. Периостальная структура первичного регенерата приобретает гиперэхогенную линейную форму с неровными контурами, перекрывающую зону перелома, диастаз между отломками не визуализируется. Толщина мозоли варьирует. Количество лоцируемых сосудов на единицу площади снижается до $5,380 \pm 0,416$ ($p < 0,05$) по сравнению аналогичным показателем на 2-м месяце. Индексы периферического сопротивления увеличиваются, что свидетельствует о продолжающемся формировании стенки сосудов, питающих регенерат.

На 4-м месяце размер регенерата начинает уменьшаться на фоне продолжающегося увеличения плотности и уменьшения количества сосудов ($4,000 \pm 0,435$). Показатели гемодина-

мики в них имеют высокие индексы периферического сопротивления и скорости тока крови ($V_{\max} - 14,40 \pm 1,49$ см/с; $Ri - 0,890 \pm 0,069$; $Pi - 3,630 \pm 0,898$) ($p < 0,05$), что говорит о сформированной сосудистой сети.

5-й месяц исследования характеризуется наличием периостального костного регенерата, перекрывающего зону дефекта кости и определяющего как гиперэхогенная линейная непрерывная структура с четкими контурами. Регистрируются единичные сосуды с высоким периферическим сопротивлением и скоростями кровотока (количество сосудов – $2,330 \pm 0,435$ на единицу площади; $V_{\max} - 15,10 \pm 1,02$ см/с; $Ri - 0,960 \pm 0,034$; $Pi - 4,650 \pm 0,430$) ($p < 0,05$).

На основании полученных данных выявлены особенности ультразвуковой картины репаративного процесса при переломах костей голени, которые позволили выделить стадии течения остеорепарации:

- 1) стадия острых циркуляторных нарушений (первые 10 суток);
- 2) стадия периостальной реакции и васкуляризации в зоне перелома (10 суток – 1 месяц);
- 3) стадия формирования костно-хрящевой мозоли (1–3 месяца);
- 4) стадия формирования костной мозоли (3–5 месяцев).

Таким образом, при различных видах костного сращения процесс регенерации перелома протекает на фоне значительных сосудистых изменений, связанных с формированием в ранние сроки после операции большого количества сосудов с низким периферическим сопротивлением, что увеличивает кровоток в зоне регенерата. В последующем по мере формирования регенерата и увеличения его плотности количество лоцируемых сосудов уменьшается параллельно увеличению в них индексов сопротивления и скоростей кровотока. При вторичном сращении количество вновь образованных сосудов на единицу площади значительно возрастает.

Особую группу составили больные с замедленной консолидацией. Ультразвуковыми признаками нарушения процесса консолидации были: сохранение отека мягких тканей более 1 месяца, отсутствие признаков консолидации более 3 месяцев, длительная, более 3 месяцев, визуализация линии перелома, низкое количество сосудов на единицу площади на всех сроках исследования (1–2 на единицу площади), низкие индексы пульсативности и резистентности на всех сроках лечения. Эти признаки могли сохраняться длительное время (5 и более месяцев), что свидетельствовало о слабой динамике развития сосудов в зоне репа-

ративного остеогенеза. Выделены критерии диагностики замедленной консолидации перелома в дорентгеновском периоде формирования костной мозоли. Так, если количество сосудов на единицу площади не увеличивается в течение первых 2 месяцев лечения и в них сохраняются низкие индексы пульсативности и резистентности, можно предполагать, что у данного пациента процесс регенерации костной ткани нарушен и при последующем лечении возможно длительное сращение перелома.

Таким образом, использование комплексного метода ультразвуковой диагностики при оперативном лечении переломов костей голени позволяет оценить этапы формирования костного регенерата на ранних рентггеннегативных стадиях перелома, получить информацию о состоянии кровотока в зоне повреждения и дать оценку его интенсивности. Применение УЗИ на ранних этапах костного сращения дает возможность прогнозировать сроки заживления перелома.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ермак, Е. М. Современные ультразвуковые технологии в диагностике деструктивных и репаративных процессов в костной и хрящевой тканях : автореф. дис. ... д-ра мед. наук / Ермак Елена Михайловна. – М., 2006. – 36 с.
2. Ключкина, Ю. А. Динамический сонографический контроль за репаративным процессом при переломах : автореф. дис. ... канд. мед. наук / Ключкина Юлия Аркадьевна. – Казань, 2002. – 24 с.
3. Ключкина, Ю. А. Сонографическое исследование васкуляризации в зоне перелома трубчатых костей / Ю. А. Ключкина // Казанский медицинский журн. – 2002. – № 5. – С. 397–399.
4. Крупаткин, А. И. Функциональные исследования периферического кровообращения и микроциркуляции тканей в травматологии и ортопедии: возможности и перспективы / А. И. Крупаткин // Вестн. травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. – 2000. – № 1. – С. 66–69.
5. Лелюк, В. Г. Ультразвуковая ангиология / В. Г. Лелюк, С. Э. Лелюк. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М., 2003. – 322 с.
6. Синицина, Н. В. Ультразвуковая диагностика нормального течения репаративного процесса при переломах длинных трубчатых костей у детей / Н. В. Синицина, К. В. Ватолин, Д. Ю. Выборнов, А. И. Гуревич // Детская хирургия. – 2011. – № 3. – С. 15–18.
7. Щуров, В. А. Оценка кровоснабжения костного регенерата методом высокочастотной ультразвуковой доплерографии / В. А. Щуров, С. О. Мурадисинов, И. В. Щуров, С. П. Бойчук // Травматология и ортопедия России. – 2008. – № 3. – С. 39–41.
8. Фишкин, В. И. Регионарная гемодинамика при переломах костей / В. И. Фишкин, С. Е. Львов, В. Е. Удальцов. – М. : Медицина, 1981. – 184 с.

ВЫВОДЫ

1. УЗИ в В-режиме позволяет оценивать и прогнозировать процесс консолидации диафизарных переломов большеберцовой кости при накостном и внутрикостном остеосинтезе.
2. Цветовая и энергетическая доплерография дает возможность выявить степень васкуляризации регенерата, свидетельствующую о динамике течения репаративного процесса.
3. Процесс регенерации диафизарных переломов большеберцовой кости при первичном и вторичном сращении протекает на фоне схожей ультразвуковой картины в зоне репарации на различных этапах формирования костной мозоли.
4. Отсутствие увеличения количества сосудов на единицу площади в первые 2 месяца лечения делает возможным прогнозировать замедленную консолидацию в зоне репарации при лечении диафизарных переломов костей голени.