

Высокочастотная ультразвуковая доплерография в диагностике состояния костного регенерата

В.А. Щуров, Н.И. Буторина, И.В. Щуров

Ultrasound Dopplerography of high frequency in the diagnostics of regenerated bone status

V.A. Shchourov, N.I. Boutorina, I.V. Shchourov

Федеральное государственное учреждение

«Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова Росмедтехнологий», г. Курган
(генеральный директор — заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАМН, д.м.н., профессор В.И. Шевцов)

У 13 больных с закрытыми переломами костей голени в процессе лечения с помощью высокочастотного ультразвукового датчика (20 МГц) регистрировали капиллярный кровоток в костном регенерате большеберцовой кости. Кожный кровоток блокировали приложением внешнего давления. Обнаружено, что в первые 2 недели скорость кровотока возрастала в 2,5 раза и нормализовывалась в течение 2 последующих месяцев лечения.

Ключевые слова: микроциркуляция, ультразвуковая доплерография, перелом костей.

Capillary blood flow in tibial regenerated bone was registered with an ultrasound sensor of high frequency (20 MHz) in 13 patients with closed fractures of leg bones during treatment. Skin blood flow was blocked up by applying external pressure. It was found that circulation rate 2,5-fold increased in the first two weeks, and was normalized within two subsequent months of treatment.

Keywords: microcirculation, ultrasound Dopplerography, bone fracture.

Скорость регионарного кровотока при травмах костей конечностей, в том числе при лечении по методу Илизарова, исследовал целый ряд авторов [1-3, 5]. После повреждения кости и окружающих мягких тканей происходит увеличение показателей упругости мышц и существенный прирост объемной скорости регионарного кровотока [5]. Нормализация регионарного кровотока наблюдается по мере компактизации костного регенерата.

Особое диагностическое значение имеет оценка состояния микроциркуляции в зоне формирования костного регенерата при переломах, поскольку, во-первых — это зона разрыва тканей и микрососудов, во-вторых — для новообразования костной ткани, как известно, необходимо прорастание сосудов, по ходу которых осуществляется остеогенез, в-третьих, минерализация костного регенерата происходит по мере нормализации

интенсивности капиллярного кровотока.

Микрососудистое русло костного регенерата недоступно для традиционного ультразвукового исследования вследствие отсутствия в этой зоне крупных сосудов, кровоток в которых можно лоцировать и определить его спектральные характеристики при применении стандартных доплеровских датчиков на 4 и 8 МГц. В последние годы для исследования капиллярного кровотока в доступных для контакта тканях (кожные покровы, склера, слизистая рта) используются специально разработанные фирмой «Минимакс» (С-Петербург) высокочастотные датчики на 20 и 25 МГц.

Целью исследования было показать возможность и информативность определения кровоснабжения костного регенерата большеберцовой кости у больных в процессе лечения по методу Илизарова.

МЕТОДИКА

На разных этапах лечения обследовано 13 пациентов в возрасте от 16 до 47 лет ($32 \pm 4,3$) с закрытыми оскольчатыми переломами большеберцовой кости, проходивших лечение в клинике РНЦ «ВТО» с помощью метода чрескостного компрессионного остеосинтеза по Илизарову.

Были применены методы ультразвуковой доплерографии магистральных артерий нижних конечностей (прибор «АНГИОДОП-2» производственного объединения «АНГИО-ПЛЮС» (Россия)

с использованием карандашных датчиков на 8 и 4 МГц, лазерной доплеровской флоуметрии кожных покровов тыла стопы (BLF-21, "Transonic Systems", США). Капиллярный кровоток регистрировали в состоянии физического покоя и после проведения функциональной ишемической пробы.

Состояние микроциркуляции в регенерате большеберцовой кости оценивали на передне-внутренней поверхности голени, там, где кость находится непосредственно под кожным покровом, с

помощью датчиков прибора «Минимакс-Допплер-К» с несущей частотой 20 МГц. При этом предварительно регистрировали капиллярный кровоток в прилежащем участке кожи, в дальнейшем кожный кровоток блокировался увеличением механического давления на кожные покровы массой датчика. При этом создавалось давление не менее 30 мм рт.

ст. Этого оказывалось достаточно для локального перекрытия капиллярного русла кожных покровов и не препятствовало кровоснабжению более жесткого подлежащего регенерата. В контрольной группе обследуемых (17 детей и подростков) исследована скорость кровотока по капиллярам кожных покровов голени.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обнаружено, что при лечении больных величины линейной скорости кровотока по большинству артерий больной и интактной конечностей достоверно не отличались. При этом по задней большеберцовой артерии она составила соответственно $33,5 \pm 4,9$ и $34 \pm 4,8$ см/с. Несмотря на очевидный прирост объемного кровотока, о чем свидетельствуют увеличение температуры кожных покровов, их гиперемия, увеличение фильтрации жидкой части крови в ткани, а также данные предшествующих исследований [7], прироста линейной скорости кровотока по артериям травмированной конечности не выявлено, что объясняется снижением базального сосудистого тонуса стенок артерий этой конечности и увеличением их диаметра.

Показатель лазерной флоуметрии кожных покровов стопы на интактной и пораженной конечностях составил соответственно $1,90 \pm 0,29$ и $2,40 \pm 0,17$ п.ед. Сравнительно более высокий показатель на травмированной конечности обусловлен ускорением шунтового кровотока по колю, приводящего к увеличению температуры, но не сопровождающегося ростом напряжения кислорода в тканях.

В процессе лечения скорость кровотока по колю в кожных покровах оперированной конечности снижалась. Динамику различия между показателями больной и интактной конечностей в процессе лечения (t, дни) можно описать уравнением регрессии:

$$Q = 0,15t^2 - 1,03t + 1,76; R^2 = 0,96.$$

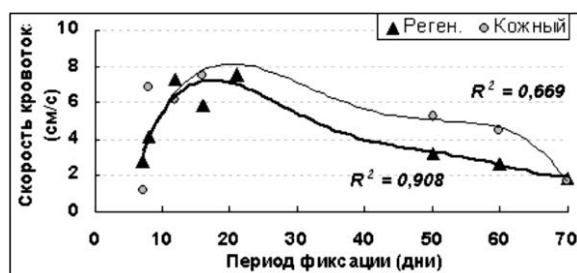


Рис. 1. Динамика капиллярного кровотока в кожных покровах и костном регенерате травмированной голени

Интенсивность капиллярного кровотока в зоне костного регенерата в процессе лечения возрастала в течение первых 2-3 недель (рис. 1). В зоне регенерата сигнал имел высокую диастолическую составляющую, что свидетельствовало о том, что регистрировался именно кровоток

в микрососудистом русле (рис. 2). Интенсивность кровотока в регенерате на протяжении периода фиксации снижалась, появлялись зоны акустического молчания, регистрировался сигнал с преимущественно артериальным наполнением (рис. 3, 4). При этом максимальная систолическая скорость кровотока в области регенерата в начале периода фиксации составила $5,53 \pm 0,93$ см, в конце — $2,69 \pm 0,64$ см/с (значение критерия Манна-Уитни, равного 0,0236, достоверно, $p < 0,05$).

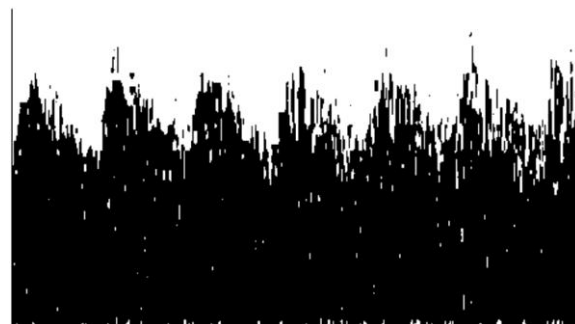


Рис. 2. Допплерограмма микрососудов регенерата больного Б., 24 лет, с закрытым переломом нижней трети большеберцовой кости, 7 дней после травмы и остеосинтеза. Vas=4,13 см/с



Рис. 3. Допплерограмма микрососудов регенерата больной Ч., 22 лет, с закрытым оскольчатым переломом большеберцовой кости. 12 дней после остеосинтеза. Vas=7,32 см/с



Рис. 4. Допплерограмма микрососудов регенерата больного Б., 23 лет, с закрытым переломом большеберцовой кости. 70 дней после остеосинтеза. Vas=1,9 см/с

Скорость кровотока в кожных покровах голени контрольной группы обследуемых составила $1,02 \pm 0,18$ см/с и зависела от возраста пациентов (t, годы):

$$Q_i = 0,03t + 0,58; r = 0,418.$$

У травматологических больных скорость капиллярного кровотока кожных покровов интактной конечности в первые недели после травмы была выше, чем у здоровых сверстников ($2,32 \pm 0,58$ см/с).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При формировании костного регенерата после перелома большеберцовой кости характерна динамика заполнения диастаза грануляционной тканью с пролиферацией сосудов и формированием через 2 недели фиброзного сращения с последующей оссификацией фиброзной ткани и формированием пластинчатой костной ткани [8]. Одним из факторов определяющих процесс пролиферации и дифференцировки тканевых структур в зоне остеогенеза, как известно, является состояние кровоснабжения регенерата [9]. После травмы образуется обильная капиллярная сеть с увеличенным просветом капилляров. Такая картина напоминает существующую у детей на ранних стадиях постнатального онтогенеза [4]. Постепенно происходит замещение сетевого типа микрососудистого русла на магистральный, с упорядочением путей притока и оттока крови и разрежением сети микрососудов. Обнаруженное нами возрастное увеличение показателя кровоснабжения кожных покровов, по-видимому, является частным случаем ускорения кровотока в перипубертатный период скачка роста конечностей [5]. Дифференциация сосудистого русла регенерата, снижение кровенаполнения тканей и повышение их электрического сопротивления на поврежденной конечности может быть диагностическим признаком компактизации костного регенерата у больных с переломами костей [6].

Кроме максимальной систолической скорости кровотока (Vas) мы изучали и другие показатели капиллярного кровотока костного регенерата, которые находились с показателем Vas в тесной прямой корреляционной взаимосвязи

($r=0,886$). Показатель, отражающий упруго-эластические свойства сосудов (индекс Гослинга), находился с величиной Vas в обратной корреляционной взаимосвязи ($r=-0,453$).

Следовательно, в первые 2 недели после травмы в костном регенерате происходит образование избыточного капиллярного русла. При этом сосуды, по-видимому, имеют низкое периферическое сопротивление, большую фильтрационную поверхность. Постепенно, как это наблюдается и в процессе постнатального онтогенеза, происходит редукция избыточного капиллярного русла, образуется зрелая сосудистая сеть с артериями, капиллярами и венами. В этот период снижаются темпы образования мягкотканного каркаса костного регенерата и ускоряется его минерализация.

Следует заметить, что скорость кровотока по кожным покровам над местом перелома кости также существенно ускоряется (см. рис. 1, $r=0,729$) и вполне может служить индикатором интенсивности обменных процессов в зоне сращения. Кровоток в кожных покровах контралатеральной конечности в первые недели после травмы ускоряется, что свидетельствует о рефлекторном механизме регуляции микроциркуляции после травмы (имеется взаимосвязь с величиной показателя кровотока в регенерате, $r=0,654$).

Таким образом, высокочастотная ультразвуковая доплерография позволяет регистрировать состояние микроциркуляции в костном регенерате, которая увеличивается в первые недели после травмы и нормализуется к концу периода фиксации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фишкин, В. И. Регионарная гемодинамика при переломах костей / В. И. Фишкин, С. Е. Львов, В. Е. Удальцов. - М.: Медицина, 1981. - 184 с.
2. Крупаткин, А. И. Клиническая нейроангиофизиология конечностей / А. И. Крупаткин. - М.: Научный мир, 2003. - 328 с.
3. Оноприенко, Г. А. Васкуляризация костей при переломах и дефектах / Г. А. Оноприенко. - М.: Медицина, 1993. - 224 с.
4. Развитие системы кровообращения / И. О. Тупицын [и др.] // Физиология развития ребёнка. - М., 2000. - С. 148-166.
5. Анализ факторов, определяющих объёмную скорость кровотока голени при лечении заболеваний конечностей по Илизарову / В. А. Щуров [и др.] // Травматол., ортопед. России. - 1994. - № 2. - С. 91-95.
6. Пат. 2212841 Российская Федерация, МПК7 61 В 5/053. Способ определения момента прекращения чрескостной фиксации / Щуров В. А., Горбачева Л. Ю. - № 2001101258/14; заявл. 12.01.2001; опубл. 29.09.2003, Бюл. № 27.
7. Щуров, В. А. Диаметр магистральных артерий нижних конечностей после велоэргометрической пробы / В. А. Щуров, С. Н. Елизарова // Физиология человека. - 2003. - Т. 29, № 2. - С. 145-148.
8. Collins, D. H. The pathology of bone / D. H. Collins. - London: Butterworths, 1966.
9. Krompecher, St. Local tissue metabolism and the quality of the callus / St. Krompecher // Callus formation: symposium on the biology of fracture healing / ed. by S. Krompecher, E. Kerner. - Budapest, 1967. - P. 275-300.

Рукопись поступила 30.11.06.