

□ Оригинальные научные публикации

DOI: <https://doi.org/10.51922/1818-426X.2025.2.110>

А. А. Ситник¹, И. В. Кандыбо¹, О. И. Шалатонина¹,
А. Н. Крук¹, А. В. Кочубинский¹, Г. В. Жук²

ДИНАМИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ РЕГИОНАРНОГО КРОВОТОКА И НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ ФУНКЦИИ ПОСЛЕ ИНТРАМЕДУЛЛЯРНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА ПЕРЕЛОМОВ ДИСТАЛЬНОГО ОТДЕЛА БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ КОСТИ

ГУ «Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии»,¹

УЗ «Клецкая центральная районная больница»²

Физиологический анализ восстановления мышечной активности, проводимости по периферическим нервам (электронейромиография) и регионарного кровотока (реография, ультразвуковая допплерография) у 15 пациентов (24–65 лет) с переломами дистального отдела большеберцовой кости после интрамедуллярного остеосинтеза позволил оценить показатели моторной функции мышц в последовательных стадиях остеогенерации (8–10 дней; 1,5–2; 3–4 и 6–12 мес.). Определены количественно: степень нарушения функции мышц; степень васкуляризации травмированного сегмента; степень компенсации первичных и вторичных циркуляторных нарушений кровообращения. Полученные функциональные показатели сопоставлены с рентгенологическими признаками формирования костной мозоли, консолидации и ремоделирования костной ткани, клиническими данными восстановления опороспособности и движения в голеностопном суставе. Показано, что периоды восстановительного лечения характеризуются адаптационными перераспределительными рециркуляторными процессами, которые соответствуют метаболическим потребностям формирующейся костной ткани и разной степенью нарушения моторной функции мышц и периферических нервов. После переломов ДМЭБК кости и выполнения интрамедуллярного остеосинтеза адаптация мышц имеет разный потенциал восстановления и не завершается после полного сращения переломов и восстановления опороспособности конечности. Выявлены ЭМГ-признаки субклинической аксонопатии периферических нервов, в большей степени по дистальному участку малоберцового нерва. Эти изменения являются обоснованием для рассмотрения вопроса о возможности и целесообразности назначения нейротропной терапии с целью улучшения исходов хирургического лечения. Применение интрамедуллярного остеосинтеза при сложных переломах создает благоприятные условия для реализации собственных механизмов остеогенеза, обеспечивая полную компенсацию нарушений тканевого кровотока, поэтапное восстановление мышечной активности и опороспособности.

Ключевые слова: перелом дистального отдела большеберцовой кости, регионарный кровоток, мышечная активность, кровяной поток, моторная проводимость, периферические нервы, интрамедуллярный остеосинтез, электронейромиография, ультразвуковая допплерография, реография.

A. A. Sitnik, I. V. Kandybo, O. I. Shalatonina, A. N. Kruk,
A. V. Kochubinski, H. V. Zhuk

DYNAMICS OF REGIONAL BLOOD FLOW AND NEUROMUSCULAR FUNCTION RESTORATION AFTER INTRAMEDULLARU OSTEOSYNTHESIS OF THE DISTAL TIBIA FRACTURE

Annotation. Electromyography, ultrasonography and rheography have been used to evaluate restoration of muscle activity, peripheral nerve conduction and regional blood

flow in 15 patients (24–65 years old) with the distal tibia fractures after intramedullary osteosynthesis. An assessment of muscle motor function indicator was carried out in consecutive stages of osteoregeneration (8–10 days, 1.5–2, 3–4 and 6–12 months). The degree of muscles function impairment, the degree of vascularization of the injured leg segment, the degree of compensation of the initial and secondary disturbances of blood supply were assessed quantitatively. Functional indicators were compared with radiological signs of callus formation, consolidation and remodeling of bone tissue, clinical date on the restoration of weight bearing and movement in the ankle joint. It has been shown that period of rehabilitation treatment are characterized by adaptive redistribuition recirculatory processes that correspond to the metabolic needs of developing bone tissue and varying degrees of impairment of a motor function of muscles and peripheral nerves. Muscle adaptation after intramedullary fixation of the distal tibia fractures has different restoration potency and is not finished after complete fracture union and restoration of full weight-bearing capacity. EMG-signs of subclinical axonopathy of peripheral nerves were revealed, mostly involving distal parts of fibular nerve. These changes may comprise the need to raise the question about feasibility of neurotropic therapy as a measure to improve the results of surgical treatment. The use intramedullary osteosynthesis for complex fractures creates favorable conditions for the implementation of one's own mehanizms of osteogenesis, providing full compensation for disturbances in tissue blood flow, gradual restoration of muscle activity and weight-bearing ability.

Key words: *distal tibia fracture, regional blood supply, muscle activity, blood flow, motor conductivity, periphery nerves, intramedullary osteosynthesis, electroneuromyography, Doppler ultrasound, rheography.*

Лечение переломов дистального метаэпифиза большеберцовой кости (ДМЭБК) сопровождается значительным количеством осложнений и неудовлетворительных результатов. При выборе метода лечения учитываются общее состояние пациента, тяжесть локального повреждения мягких тканей, наличие сопутствующей патологии. Первостепенной задачей является сохранение жизнеспособности мягких тканей в зоне перелома [1]. Основными принципами применяемого лечения являются минимальная травматичность, стабильная фиксация и ранняя активизация [2, 3]. Пациентов с высокоэнергетическими, многоскользящими переломами, сопровождающими грубыми нарушениями кровообращения и повреждением остеогенных тканей, можно отнести в группу риска по нарушению репаративного остеогенеза и развитию морфологических изменений костной и хрящевой ткани [4–8].

Традиционно при лечении переломов ДМЭБК ведущую роль играет накостный остеосинтез пластинами. Однако прямой доступ к перелому в зоне повреждения мягких тканей представляет опасность из-за высокого риска раневых осложнений, частота которых достигала 35 %. Применение внешней фикса-

ции позволяет снизить частоту инфекционных осложнений, но сопровождается большой частотой осевых отклонений, а также худшими функциональными результатами.

Интрамедуллярный остеосинтез традиционно применялся при лечении диафизарных переломов, но в последние годы – благодаря совершенствованию хирургической техники и имплантатов – все более популярен и при переломах дистального отдела большеберцовой кости. Этот метод является максимальноящим по отношению к мягким тканям в области перелома, обладает значимыми механическими преимуществами перед остеосинтезом пластины за счет расположения фиксатора максимально близко к механической оси конечности, позволяет значительно более раннюю нагрузку конечности массой тела. Соответственно, при использовании данного метода лечения можно ожидать более быстрое восстановление локального кровотока и активности мускулатуры.

Цель исследования: изучить восстановление функциональных параметров травмированной конечности у пациентов с переломами дистального отдела большеберцовой кости при нормально протекающем остеогенезе после интрамедуллярного остеосинтеза.

□ Оригинальные научные публикации

Материалы и методы

Были проанализированы данные нейрофизиологического и вазомоторного исследования у группы пациентов из 15 человек (24–65 лет) в период 8–10 дней, 1,5–2, 3–4, 6–8 и 12 месяцев после интрамедуллярного остеосинтеза переломов ДМЭБК. Мужчин было 7, женщин – 8, возраст пациентов 44 года (от 24 до 65). Все повреждения были закрытыми, повреждения мягких тканей после травмы оценивались как умеренные или незначительные (Tschernе 0 – 9, I – 6). Распределение переломов согласно классификации АО/ОТА было следующим: 43А1 – 6 пациентов, 43А2 – 2, 43А3 – 3, 43С2 – 3. Хирургическое лечение было выполнено в срок 0–10 дней после травмы, у всех пациентов применен закрытый интрамедуллярный остеосинтез перелома. Постоперационный период в исследуемой группе пациентов протекал без осложнений. В первые 6–8 недель после операции разрешали дозированную нагрузку конечности массой тела до 30 кг, затем нагрузку постепенно увеличивали до 50–60 кг в течение следующих 6–8 недель. Переход к полной нагрузке осуществлялся у большинства пациентов в сроки 4–5 месяцев после травмы. У большинства пациентов данной группы на этапных рентгенограммах наблюдалось сращение перелома в ожидаемые сроки. У одной пациентки отмечена замедленная консолидация (признаки сращения к 8 месяцам после травмы) при полной безболезненной нагрузке конечности массой тела в срок 5 месяцев после травмы.

При электронейромиографическом исследовании (ЭНМГ) была использована методика поверхностного отведения биоэлектрической активности (БА) при произвольной активации *m. biceps femoris*, *m. vastus lateralis*, *m. tibialis anterior*, *m. extensor hallucis longus*, *m. gastrocnemius medialis*, *m. soleus* обеих конечностей. Анализ суммарной электромиографии (ЭМГ) включал: структура ЭМГ, амплитуда БА (A, мкВ). Наиболее информативным критерием считали изменение БА относительно контрольных значений и показателей интактной конечности. Снижение параметра на 10–20 % расценивали как легкую или незначительную степень нарушения двигательной функции конечности, на 20–50 % – среднюю или умеренную, снижение более чем на 50 % – тяжелую или выраженную.

Для определения состояния периферических нервов методом стимуляционной ЭМГ регистрировали и анализировали М-ответы (мВ) *m. tibialis anterior*, *m. extensor digitorum brevis* при стимуляции *n. peroneus*, *m. soleus* и *m. abductor hallucis* в ответ на стимуляцию *n. tibialis*. Оценивали скорость проведения электрического импульса по периферическому нерву (СПИ, м/с) по сравнению с контролем. Снижение амплитудных и скоростных параметров периферических М-ответов на 10–30 % расценивали как умеренное снижение моторной проводимости; на 30–80 % – выраженное; угнетение амплитудных и скоростных параметров периферических М-ответов до минимальных величин – полное нарушение моторной проводимости периферического нерва.

Для исследования уровня кровенаполнения мышц нижних конечностей билатерально регистрировали реограммы бедра, голени и стопы в покое. Наиболее информативным параметром считали изменение объемной скорости кровотока (Q, см³/мин/100 см³) сегментов травмированной конечности относительно контрольных значений и/или аналогичных интактной. Увеличение параметра более, чем на 30 % расценивали как повышенную васкуляризацию; уменьшение более, чем на 30 % – как пониженную; незначимое (до 30 %) изменение параметра – как слабую.

Магистральный кровоток изучали допплерографическим методом, демонстрирующим в реальном времени в графическом, звуковом и количественном виде показатели кровотока в сосудах в 3-х режимах: В-режим, ЦДК, ЭДК режим. Сканировали *aa.* и *vv.* *femoralis*, *femoris superficialis*, *profunda femoris*, *poplitea*, *tibialis posterior*, *tibialis anterior*, *dorsalis pedis*; *v. saphena magna*. Регистрировали параметры: средняя скорость кровотока ($V_{ср.}$, см/с), диаметр сосуда (см). Рассчитывали кровяной поток (КП, л/мин). Критерием анализа было принято изменение КП на стороне травмы относительно контрольных значений и/или аналогичных на интактной конечности. Повышение параметра более, чем на 30 % расценивали как гиперперфузию по магистральным артериям; уменьшение более, чем на 30 % – как гипоперфузию; незначимое (до 30 %) изменение параметра соответствовало нормальному уровню перфузии. Контрольную группу составили 20 практически здоровых людей, не име-

ющих заболеваний опорно-двигательной системы и переломов костей, обследованных по стандартной программе с помощью нейроусреднителя «Нейро-МВП» (Нейрософт, Россия), реографа «Рео-Спектр-З» (Нейрософт, Россия) и ультразвукового сканера «HD-15» (PHILIPS). Статистическая обработка данных производилась при помощи программы Microsoft Excel (2007 г.). Статистически достоверным между оцениваемыми группами считали отклонение изучаемого параметра при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Анализ изучаемых параметров проводили согласно фазам функционального восстановления, которые были выделены нами в результате имеющегося опыта изучения особенностей восстановления нервно-мышечной системы и регионарного кровотока после переломов костей, сопоставления с данными других исследователей, морфологическими и клиническими стадиями репаративной остеорегенерации.

Ранний послеоперационный период (8–10 дней). По ЭМГ – данным у всех пациентов наблюдали выраженное снижение функционального состояния мышц обеих нижних конечностей с преобладанием нарушения на травмированной. Значение БА на стороне травмы составило от нормы в мышцах бедра 20–26 %, в мышцах голени 11–17 % ($p < 0,05$), на интактной конечности – 23–54 % и 21–54 % ($p < 0,05$).

Метаболические процессы, характерные для этого периода, сопровождались разной степенью кровоснабжения травмированных и смежных сегментов. На обеих нижних конечностях мышечный кровоток в области бедра симметрично составлял от нормы 34–39 %, в области стопы находился в пределах контрольных значений. На стороне травмы в области голени уровень кровенаполнения ($\text{см}^3/\text{мин}/100 \text{ см}^3$) соответствовал или незначительно ($p > 0,5$) превышал нормативные значения ($4,97 \pm 2,23$ при норме $4,34 \pm 1,11$), тогда как на интактной конечности параметры кровотока составляли от нормы 47–72 % ($3,03 \pm 1,16$, $p < 0,5$). Процессы гиперваскуляризации, которые характеризовались повышенным уровнем кровенаполнения тканей (72–83 %) травмированной конечности, по сравнению с интактной, явились маркером начальных регенеративных процессов.

По данным УЗДГ-исследования значение кровяного потока (КП, л/мин) *a. poplitea* на травмированной конечности по сравнению с интактной находилось в диапазоне $0,349 \pm 0,150$ против $0,192 \pm 0,064$ (норма $0,536 \pm 0,064$), соответственно *a. tibialis posterior* $0,052 \pm 0,020$ против $0,016 \pm 0,007$ (норма $0,030 \pm 0,015$), *a. tibialis anterior* $0,036 \pm 0,007$ против $0,015 \pm 0,007$ (норма $0,189 \pm 0,027$), *a. dorsalis pedis* $0,028 \pm 0,011$ против $0,012 \pm 0,003$ (норма $0,023 \pm 0,011$). На стороне перелома кровенаполнение по магистральным артериям подколенно-берцового сегмента и стопы достоверно ($p < 0,05$) не только превосходила аналогичные значения на интактной конечности (80–140 %), но и среднестатистические нормативные показатели (63–160 %). На травмированной конечности значения КП (л/мин) *v. poplitea* ($0,529 \pm 0,230$ при норме $0,152 \pm 0,074$, $p < 0,05$), *vv. tibiales posterior* ($0,52 \pm 0,020$ при норме $0,013 \pm 0,006$, $p < 0,05$) превышали контрольные, а в венах бедренно-подколенного сегмента – показатели на интактной конечности (до 40 %). Такое распределение количественных допплерографических показателей магистральных вен обеспечивало адекватный венозный отток с уровня травмы, который соответствовал повышенному артериальному притоку.

Образование первичного регенерата, образование и дифференцировка тканевых структур (1,5–2 месяца). Клинически фаза характеризовалась увеличением осевой нагрузки травмированной конечности до 30–40 кг. Рентгенологически видимые признаки начального формирования костной мозоли наблюдались в единичных случаях, у большинства пациентов констатировалось отсутствие вторичных смещений костных отломков по сравнению с ранними послеоперационными рентгенограммами.

По данным ЭМГ на стороне травмы существенное увеличение электрогенеза (мкВ) отмечалось в *m. extensor hallucis longus* на 87 % (с 80 ± 34 до 151 ± 37 , при норме 690 ± 76), *m. peroneus longus* на 89 % (с 73 ± 30 до 128 ± 55 при норме 646 ± 20), *m. gastrocnemius medialis* на 77 % (с 80 ± 25 до 145 ± 62 при норме 678 ± 110). Однако значения БА мышц обеих нижних конечностей оставались низкими и составляли от нормы для мышц голени на стороне травмы 19–21 %, на интактной –

□ Оригинальные научные публикации

от 30–65 %. При электрической стимуляции периферических нервов оказалось, что по сравнению с контролем у 75 % пациентов на дистальном участке была снижена амплитуда М-ответов (мВ) *m. extensor hallucis longus* при стимуляции малоберцового нерва ($2,6 \pm 0,3$, при норме 4–6 и выше) и *m. abductor hallucis* при стимуляции большеберцового нерва ($2,5 \pm 0,13$, при норме 8–10 и выше). Скорость эффеरентного проведения импульса (СПИ, м/с) на симптомной стороне составила на проксимальном участке для *n. peroneus* 39 ± 6 , для *n. tibialis* 49 ± 13 (норма 45–60), на дистальном участке для *n. peroneus* – 16 ± 3 , для *n. tibialis* – 21 ± 7 (норма 25–35). На интактной конечности снижение СПИ было характерно только для дистального участка (соответственно 20 ± 3 и 27 ± 7).

На этой стадии в области бедра обеих нижних конечностей уровень кровенаполнения мышц (по данным РВГ) повысился и составил соответственно 48–56 % от нормы. На стороне травмы сохранялась тенденция преобладания (в среднем 45 %) объемного кровотока (см³/мин/100 см³) в области травмированной голени ($5,84 \pm 1,46$) по сравнению с контрлатеральной ($4,02 \pm 1,92$). Уровень перфузии (КП, л/мин) для подколенно-берцового сегмента и стопы, был выше, чем в симметричных сегментах (30–50 %). Изменения КП магистральных вен были разнонаправленными: скорость потока уменьшилась в области бедренно-подколенного сегмента, в среднем на 48 %, увеличилась по берцовым венам до 47 %, с активным включением в венозный отток *v. saphena magna*, значение КП которой было на 43 % выше, чем на интактной конечности ($0,037 \pm 0,010$ против $0,027 \pm 0,010$). Таким образом, распределение количественных показателей обеспечивало адекватный венозный отток с уровня травмы, который соответствовал повышенному артериальному притоку.

Консолидация: формирование костных блоков и минерализация костной ткани (3–4 месяца). Клинически наблюдалось практически полное восстановление амплитуды движений голеностопного сустава, пациентам разрешалась осевая нагрузка до 50–60 кг, что примерно соответствовало переходу на ходьбу с одним костьюлем. Рентгенологически определялась хорошая адаптация костных фрагментов с правильным осевым соотношением, при-

знаками формирования костной мозоли между отломками в метадиафизарной зоне, с сохранением прослеживаемой линии перелома.

На травмированной конечности основной прирост электрической активности отмечали в *m. vastus medialis* – 148 %, *m. rectus femoris* – 58 % и *m. peroneus longus* – 53 %. Значение БА составило от нормы для мышц бедра 31–67 % (на интактной – 32–98 %), для мышц голени – 23–30 % (на интактной 41–55 %). Амплитудные показатели *m. vastus medialis* на обеих нижних конечностях приближались к значениям нормы, *m. gastrocnemius medialis* и *m. Soleus* – без положительной динамики. Умеренное снижение СПИ на проксимальном и дистальном участках малоберцового нерва ($41,0 \pm 2,0$ м/с) травмированной конечности сочеталось с достижением нижней границы контрольных значений на интактной ($47,0 \pm 4$ м/с). Амплитуды М-ответов по сравнению с контролем были билатерально уменьшены на 60 % и 50 % соответственно.

В этот период не отмечали значимых изменений и параметров мышечного объемного кровотока (см³/мин/100 см³) относительно предыдущего, тогда как по магистральным артериям бедренно-подколенного сегмента кровенаполнение увеличилось (л/мин). Значение КП а. *poplitea* повысилось с $0,151 \pm 0,053$ до $0,366 \pm 0,119$ и стало достоверно превышать нормативное. В месте травмы скорость кровотока (л/мин) изменялась в диапазоне по а. *tibialis posterior* 0,013–0,198 (норма 0,015–0,45), по а. *tibialis anterior* – 0,016–0,098 (норме 0,012–0,032), по а. *dorsalis pedis* – 0,005–0,072 (норма 0,012–0,034), соответствовала или превышала значения нормы. В большинстве случаев отмечали преобладание уровня перфузии травмированной конечности над интактной от 30 до 380 %. Распределение скоростных допплерографических показателей магистральных вен обеспечивало адекватный венозный отток с уровня травмы, который соответствовал усиленному артериальному притоку: значения КП по сравнению с предыдущим периодом увеличились, а по *vv. tibiales posteriores* достоверно ($p < 0,05$) превышали скоростные показатели на интактной конечности.

Репаративное ремоделирование (4–6 месяцев). Клинически фаза характеризовалась переходом к ходьбе с полной нагрузкой без внешней

опоры. Рентгенологически уверенно отмечалось сращение перелома, признаки перестройки первичного регенерата и восстановление костной ткани в метадиафизарной зоне, бывшая линия перелома прослеживалась в редких случаях.

Исследование произвольного напряжения мышц показало рост изучаемого параметра в среднем на 40 %, в большей степени за счет *m. rectus femoris* (47 %), *m. tibialis anterior* (87 %), *m. soleus* (66 %) без динамики для *m. extensor hallucis longus*, *m. gastrocnemius medialis*. Значение БА составило от нормы для мышц бедра 46–70 % (на интактной 47–98 %), для мышц голени – 24–47 (на интактной 53–63 %). По сравнению с контролем амплитуда М-ответов оставалась сниженной при стимуляции большеберцового нерва на 10–15 %, при стимуляции малоберцового нерва только на дистальном участке на 30–40 %. Сохранялось умеренно низкое значение СПИ на дистальном сегменте малоберцового нерва ($20 \pm 1,0$ при норме 25–35 м/с).

Этот период характеризовался увеличением кровенаполнения мышц (РВГ-данные) на обеих нижних конечностях. На стороне травмы в области голени сохранялись признаки гиперваскуляризации: уровень кровотока превышал аналогичные показатели на интактной конечности (50 %) и нормативные значения (97 %). По данным УЗДГ на травмированной конечности по бедренным артериям не отмечали значимых изменений уровня кровенаполнения. Значение КП (л/мин) а. *poplitea* понизилось с $0,336 \pm 0,119$ до $0,308 \pm 0,111$. В месте травмы скорость кровотока изменялась в диапазоне по а. *tibialis posterior* от 0,025 до 0,069 (норма 0,015–0,45), по а. *tibialis anterior* – 0,006–0,153 (норме 0,012–0,032), по а. *dorsalis pedis* – 0,016–0,123 (норма 0,012–0,034), соответствовала или превышала значения нормы. В большинстве случаев уровень перфузии травмированной конечности был на 30–320 % выше интактной. На этом этапе значение КП по в. *femoralis* и в. *poplitea* увеличивалось, по вв. *tibiales posteriores* несколько уменьшалось, с активным участием в. *saphena magna*.

Адаптационное ремоделирование (6–12 и более месяцев). Начинается вслед за окончанием фактической репаративной регенерации и все последующие процессы происходят

под влиянием механических нагрузок. Через 12 месяцев после операции на рентгенограммах линия перелома едва прослеживалась, сохранялся костный шов в виде полоски остеосклероза.

На стороне травмы отмечалась положительная динамика параметров ЭМГ мышц с увеличением БА преимущественно *m. extensor hallucis longus* (140 %), *m. peroneus longus* (42 %), *m. gastrocnemius medialis* (117 %). Различия от нормы составили: *m. rectus femoris*, *m. vastus lateralis*, *m. tibialis anterior* – 56 %, *m. extensor hallucis longus* – 58 %, *m. peroneus longus* – 47 %, *m. gastrocnemius medialis* – 54 %, *m. soleus* – 41 %. Значение БА на интактной конечности составило от нормы: *m. rectus femoris* – 64 %, *m. vastus lateralis* – 59 %, *m. tibialis anterior* – 79 %, *m. extensor hallucis longus* – 70 %, *m. peroneus longus* – 60 %, *m. gastrocnemius medialis* – 67 %, *m. soleus* – 50 %. К 12 месяцам после операции наблюдалась нормализация латентного времени М-ответов и СПИ при стимуляции на дистальном и проксимальном участках большеберцового нерва, с сохранением снижения на дистальном участке малоберцового нерва ($21,0 \pm 0,7$ м/с). Амплитуда М-ответов по сравнению с контролем (преимущественно на дистальном участке) была уменьшена на 30 % на травмированной и на 10 % на интактной стороне.

Показатель объемного кровотока (РВГ-данные) на обеих нижних конечностях области голени и стопы соответствовали физиологической норме. Однако в области бедра сохранялось достоверное ($p < 0,05$) его снижение относительно нормативных значений.

Динамика скоростных показателей магистральных артерий осталась без изменения. На стороне травмы по артериям бедренно-подколенного сегмента уровень кровоснабжения снизился, оставаясь в диапазоне физиологический нормы. Скорость кровотока (л/мин) в месте травмы находилась в диапазоне по а. *tibialis posterior* 0,025–0,088 (норма 0,015–0,45), по а. *tibialis anterior* – 0,008–0,091 (норма 0,012–0,032), по а. *dorsalis pedis* – 0,004–0,096 (норма 0,012–0,034), соответствовала или превышала значения нормы. В большинстве случаев имело место преобладание кровоснабжения травмированной конечности по сравнению с интактной (37 до 266 %).

□ Оригинальные научные публикации

Усиленный венозный отток по *vv. tibiales posteriores* соответствовал повышенному притоку по берцовым артериям.

Физиологический анализ восстановления мышечной активности и регионарного кровотока при переломе метаэпифиза большеберцовой кости после закрытой репозиции позволил оценить показатели моторной функции мышц в последовательных стадиях остеорегенерации:

- 1-я и 2-я стадия, когда еще признаков костного сращения в виде формирования костной мозоли не наблюдается, 3-я стадия – стадия консолидации перелома: выраженная степень нарушения функции мышц с умеренным снижением моторной проводимости периферических нервов по типу аксонопатии, гиперперфузия по магистральным артериям с усиленной васкуляризацией травмированного сегмента;
- 4-я стадия консолидации перелома, окончание фазы репаративного остеогенеза и начало ремоделирования: выраженная или умеренная степень нарушения функции мышц с умеренным снижением моторной проводимости *n. peroneus*, незначительной степенью снижения моторной проводимости *n. tibialis*, гиперперфузия по магистральным артериям с усиленной васкуляризацией травмированного сегмента;
- 5-я стадия – адаптационное ремоделирование: выраженная или умеренная степень нарушения функции мышц с умеренным или незначительным снижением моторной проводимости *n. peroneus* в дистальном сегменте (уровень предплюсны), с незначительной степенью снижения или нормальной моторной проводимостью *n. tibialis*, гиперперфузия по магистральным артериям с нормальной васкуляризацией травмированного сегмента.

Выводы:

1. Репаративный остеогенез при переломе дистального отдела большеберцовой кости сопровождается развитием собственных компенсаторных реакций нервно-мышечной системы и регионарного кровотока.

2. Реакция преобладания кровотока на стороне травмы свидетельствует о полной компенсации первичных нарушений кровообращения в области перелома, вызванных самой травмой и вторичных, связанных с выполнением хирургического вмешательства.

3. Усиление кровоснабжения травмированной конечности обеспечивается повышенным объемным мышечным кровотоком и гиперперфузией по магистральным артериям подколенно-берцового сегмента и стопы, наблюдается во все периоды восстановительного лечения, свидетельствует о наличии адаптационных перераспределительных рециркуляторных адаптационных процессов и соответствует метаболическим потребностям формирующейся костной ткани.

4. Переломы ДМЭБК вызывают функциональные амплитудно-частотные и временные изменения в мышцах, периферических нервах не только травмированной, но и интактной конечности, что обусловлено усилением тормозных рецепторных влияний, которые обеспечивают динамический контроль адаптации и восстановления сосудистого, моторного и неврологического статуса в разные стадии остеорепарации. Наличие моторного дефицита является проявлением общего интегративного контроля ЦНС на этапах репаративной регенерации.

5. После переломов ДМЭБК и выполнения интрамедуллярного остеосинтеза адаптация мышц имеет разный потенциал восстановления. Наибольшее увеличение амплитуды ЭМГ в послеоперационном периоде происходит в *m. rectus femoris* через 3–6 месяцев, в *m. peroneus longus* через 1,5–4 месяца, в *m. extensor hallucis longus* и *m. gastrocnemius* через 1,5–6–12 месяцам, *m. tibialis anterior* к 6 месяцам.

6. Незавершенность процесса восстановления функциональных параметров двигательной активности после полного сращения костных отломков при нормально протекающем остеогенезе является закономерным проявлением сложных взаимодействий функциональных систем организма, ответственных за адаптацию и направленных на мобилизацию ресурсов органов, не превышающих индивидуальных возможностей организма. Применение интрамедуллярного остеосинтеза при сложных переломах создает благоприятные условия для реализации собственных механизмов протекания остеогенеза, обеспечивая быструю и полную компенсацию нарушений тканевого кровотока, поэтапное восстановлением мышечной активности и опороспособности в соответствующих фазах остеогенерации.

Литература

1. Васюк, В. Л. Закрытый малоинвазивный остеосинтез эпиметафизарных переломов дистального отдела костей голени / В. Л. Васюк, О. А. Ковал' // Травма. – 2018. – № 5(19). – С. 106–117.
2. Львов, С. Е. Алгоритм остеосинтеза оскольчатых переломов дистального метаэпифиза большеберцовой кости / С. Е. Львов, Д. Али, А. А. Артемьев [и др.] // Гений ортопедии. – 2011. – № 3. – С. 12–16.
3. Ситник, А. А. Внутрисуставные переломы дистального отдела большеберцовой кости – современные концепции лечения / А. А. Ситник // Военная медицина. – 2020. – № 2. – С. 132–140.
4. Климовицкий, В. Г. Клеточные механизмы нарушения reparatивного остеогенеза // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2011. – № 2. – С. 5–16.
5. Дьячкова, Г. В. МРТ-характеристика сосудов и мышц голени у больных после лечения методом чрескостного остеосинтеза закрытых диафизарных переломов костей голени / Г. В. Дьячкова, Р. В. Степанов, К. А. Дьячков, М. А. Корабельников // Гений ортопедии. – 2011. – № 1. – С. 86–90.
6. Франке, Ю. Остеопороз: перевод с нем. / Ю. Франке, Г. Рунге. – М.: «Медицина». 1995. – 301 с.
7. Соколовский, А. М. Хирургическое лечение заболеваний тазобедренного сустава / А. М. Соколовский, А. С. Крюк. – Минск: Навука і тэхніка, 1993. – 248 с.
8. Оноприенко, Г. А. Ваккуляризация костей при переломах и дефектах / Г. А. Оноприенко. – М.: «Медицина», 1993. – 224 с.

References

1. Vasyuk, V. L. Zakrytyy maloinvazivnyy osteosintez epimetafizarnykh perelomov distal'nogo otdela kostey goleni / V. L. Vasyuk, O. A. Koval' // Travma. – 2018. – № 5(19). – S. 106–117.
2. L'vov, S. Ye. Algoritm osteosinteza oskol'chatykh perelomov distal'nogo metaepifiza bol'shebertsovoy kosti / S. Ye. L'vov, D. Ali, A. A. Artem'yev [et al.] // Geniy ortopedii. – 2011. – № 3. – S. 12–16.
3. Sitnik, A. A. Vnutrisustavnyye perelomy distal'nogo otdela bol'shebertsovoy kosti – sovremennyye kontseptsiy lecheniya / A. A. Sitnik // Voyennaya meditsina. – 2020. – № 2. – S. 132–140.
4. Klimovitskiy, V. G. Kletochnyye mekhanizmy naru-sheniya reparativnogo osteogeneza // Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye. – 2011. – № 2. – S.5–16.
5. D'yachkova, G. V. MRT-kharakteristika sosudov i myshts goleni u bol'nykh posle lecheniya metodom chres-kostnogo osteosinteza zakrytykh diafizarnykh perelomov kostey goleni / G. V. D'yachkova, R. V. Stepanov, K. A. D'yachkov, M. A. Korabel'nikov // Geniy ortopedii. – 2011. – № 1. – S. 86–90.
6. Franke, Yu., Runge G. Osteoporoz / perev. s nem. – M.: Meditsina, 1995.
7. Sokolovskiy, A. M., Kryuk A. S. Khirurgicheskoye lecheniye zabolevaniy tazobedrennogo sostava. – Minsk: Navuka i tekhnika, 1993. – 248 s.
8. Onopriyenko, G. A. Vaskulyarizatsiya kostey pri perelomakh i defektakh. – M.: Meditsina, 1993. – 224 s.

Поступила 25.02.2025 г.