

# ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГИОНАРНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ И НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

## У ПАЦИЕНТОВ С ВНУТРИСУСТАВНЫМ ПЕРЕЛОМОМ ДИСТАЛЬНОГО ОТДЕЛА БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ КОСТИ

**Аннотация.** Проведена оценка регионарной гемодинамики и функционального состояния мышц нижних конечностей, моторной проводимости двух периферических нервов у пациентов, получивших переломы дистального метаэпифиза большеберцовой кости, в условиях различных сроков восстановления (8–10 дней; 1,5–2, 3–4 и 6–12 мес.) после лечения с применением хирургического способа открытой репозиции, фиксации пластиной. У всех пациентов на стадиях консолидации и ремоделирования костной ткани определены нарушения функции мышц и периферических нервов, гиперперфузия по магистральным артериям с усиленной васкуляризацией травмированного сегмента. Установлено, что к моменту полного восстановления опороспособности конечности не завершается процесс нормализации параметров нервно-мышечной активности и регионарного кровотока. Отмечается 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. Полученные результаты являются начальными для определения критериев анатомо-функционального соответствия между восстановлением целостности кости и моторной способностью мышц.

**Ключевые слова:** внутрисуставной перелом большеберцовой кости, регионарный кровоток, мышечная активность, кровяной поток, моторная проводимость, периферические нервы, рентгенограмма.

**Для цитирования:** Шалатонина О., Кандыбо И., Ситник А., Васько О., Крук А., Кочубинский А. Исследование регионарной гемодинамики и нервно-мышечной активности у пациентов с внутрисуставным переломом дистального отдела большеберцовой кости // Наука и инновации. 2024. №12. С. 67–73. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2024-12-67-73>

**Ольга Шалатонина,**

главный научный сотрудник лаборатории клинической электрофизиологии РНПЦ травматологии и ортопедии, доктор биологических наук, профессор; [rpcto@tut.by](mailto:rpcto@tut.by)

**Ирина Кандыбо,**

ведущий научный сотрудник лаборатории клинической электрофизиологии РНПЦ травматологии и ортопедии; кандидат биологических наук; [kandybo.irina66@gmail.com](mailto:kandybo.irina66@gmail.com)

**Александр Ситник,**

завлабораторией травматологии взрослого возраста РНПЦ травматологии и ортопедии, кандидат медицинских наук, доцент; [alexandre\\_sitnik@yahoo.com](mailto:alexandre_sitnik@yahoo.com)

**Ольга Васько,**

научный сотрудник лаборатории клинической электрофизиологии РНПЦ травматологии и ортопедии

**Александр Крук,**

младший научный сотрудник лаборатории травматологии взрослого возраста РНПЦ травматологии и ортопедии

**Алексей Кочубинский,**

врач-травматолог травматолого-ортопедического отделения для взрослых РНПЦ травматологии и ортопедии

Переломы дистального метаэпифиза большеберцовой кости (ДМЭБК) чаще встречаются у молодых трудоспособных лиц, отличающихся высокой физической активностью и занимающихся экстремальными видами спорта [1]. Помимо костных повреждений определяющим прогностическим фактором в отношении консолидации перелома и функционального восстановления конечности является состояние мягких тканей. По данным литературы, до 43% ранее работавших лиц оказываются неспособными вернуться к прежнему труду, 68% из них связывают это с последствиями перенесенной травмы [2, 3]. Глубокие инфекции после хирургического лечения отмечаются в 5% наблюдений, нарушения консолидации достигают 18% [4, 5], посттравматический артроз голеностопного сустава развивается у 13–54% пациентов [5]. Доля повторных хирургических вмешательств, направленных на коррекцию осложнений, достигает 40%. При этом лечение 26% пострадавших заканчивается выходом на инвалидность [6, 7].

Разработка современных методов остеосинтеза основана на клинических особенностях и биологических закономерностях, позволяющих достичь консолидации перелома в правильном положении с восстановлением функции конечности [8, 9]. При достижении этого результата хорошие рентгенологические показатели должны соответствовать функциональным.

Недостаточность сведений об эффективности различных способов хирургического вмешательства для восстановления двигательной функции определяла необхо-

димость изучения и сопоставления клинико-функциональных критериев с рентгенологическими в динамике. Нарушение функциональной активности скелетных мышц после перелома обусловлено многими факторами, в частности изменением их нервно-трофического обеспечения, величиной смещения отломков, локализацией перелома, сроками восстановительной терапии [10]. Определение функциональных состояний нервно-мышечной системы в процессе лечения пациентов необходимо для оценки адекватности реабилитационных мероприятий, отражения потенциальной физиологической дееспособности травмированной конечности в разные периоды репаративного остеогенеза.

### Объекты и методы исследования

Изучены клинико-рентгенологические данные 379 пациентов с переломами ДМЭБК, находившихся на лечении в РНПЦ травматологии и ортопедии с 2010 по 2024 г. включительно. В 168 случаях выполнялась открытая репозиция и внутренняя фиксация винтами и/или пластинами (ORIF). Этот метод является стандартным для данных повреждений, он обеспечивает хорошую визуализацию фрагментов, возможность восполнения дефектов костной ткани и максимального восстановления конгруэнтности суставных поверхностей. Особое внимание к моторной функции конечности обусловлено тем, что в изучаемом сегменте (область голеностопного сустава) проходят дистальные ветви малоберцового и большеберцового нервов, которые могут вовлекаться в повреждение. Были проведены электромиографические, реографиче-

ские и ультразвуковые доплерографические обследования у 17 пациентов (31–52 года) в период 8–10 дней и 1,5–2, 3–4, 6–8, 12 мес. после открытой репозиции перелома ДМЭБК.

Особенности изменения мышечного кровотока изучали, регистрируя реограммы бедра, голени и стопы в покое. Определяли объемную скорость кровотока ( $Q$ ,  $\text{см}^3/\text{мин}/100 \text{ см}^3$ ). Доплерографически исследовали *aa.* и *vv. femoralis, femoris superficialis, profunda femoris, poplitea, tibialis posterior, tibialis anterior, dorsalis pedis; v. saphena magna*. Устанавливали среднюю скорость кровотока ( $V_{\text{ср.}}$ ,  $\text{см}/\text{с}$ ), кровяной поток (КП,  $\text{л}/\text{мин}$ ), диаметр сосуда ( $D$ ,  $\text{см}$ ).

Функциональное состояние мышц бедра (*m. rectus femoris, m. vastus lateralis et medialis*) и голени (*m. tibialis anterior, m. extensor hallucis longus, m. extensor digitorum brevis, m. gastrocnemius medialis, m. soleus*) определялось методами суммарной и стимуляционной электромиографии (ЭМГ) по стандартным методикам. Оценивалась скорость распространения возбуждения по двигательным волокнам на разных участках периферических нервов (*n. peroneus, n. tibialis*) с тестированием параметров моторных ответов мышц.

Контрольную группу составили 20 практически здоровых лиц, не имеющих заболеваний опорно-двигательной системы и переломов костей, обследованных с помощью реографа «Рео-Спектр-3» (Нейрософт, Россия) и ультразвукового сканера HD-15 (PHILIPS) и нейроусреднителя «Нейро-МВП» (Нейрософт). Для определения статистической значимости использовали *t*-критерий Стьюдента с положительной достоверностью отклонений изучаемых параметров при  $p < 0,05$ .

## Результаты и обсуждение

Один из основных количественных показателей объемного кровотока – уровень кровенаполнения ( $\text{см}^3/\text{мин}/100 \text{ см}^3$ ). На обеих нижних конечностях в реабилитационном периоде он находился в пределах нормативного диапазона в сегменте голени и стопы, а в области бедра был снижен и приблизился к контрольным значениям к 12 мес. после операции (таблица).

В раннем послеоперационном периоде на стороне травмы отмечалось преобладание объемного кровотока по сравнению с аналогичным интактной конечности (20–52%), свидетельствующее о полной компенсации первичных циркуляторных нарушений кровообращения в области перелома, вызванных травмой, и вторичных, связанных с операционным вмешательством.

По данным проведенного УЗДГ-исследования не было выявлено стено-окклюзирующих заболеваний магистральных артерий или признаков венозной дисфункции (тромбоза, посттромбофлебических изменений, варикозной трансформации, кла-

панной недостаточности, патологических рефлюксов). Количественные показатели магистральных сосудов находились в пределах физиологической нормы или превышали ее. На травмированной конечности отмечалось усиление кровотока в виде повышенной перфузии по магистральным артериям. Уровень КП (л/мин) по *a. femoris superficialis* (173%), *a. poplitea* (140%), *a. tibialis posterior* (132%), *a. tibialis anterior* (213%), *a. dorsalis pedis* (79%) и значения диаметра (D, см) *a. tibialis posterior* (42%), *a. tibialis anterior* (4%), *a. dorsalis pedis* (7%) не только преобладали на стороне перелома, но и превосходили нормативные значения. Анализ количественных и качественных доплерографических показателей глубоких вен показал, что на стороне перелома КП и значения диаметра превышали аналогичные интактной конечности по *v. femoralis* 63% и 4%, *v. poplitea* 87% и 25%, *vv. tibiales posterior* 58% и 20%, *v. saphena magna* 148% и 28% соответственно. Такое распределение не соответствовало повышенному притоку по сопровождающим артериям и способствовало затруднению венозного оттока.

В период 1,5–2 мес. после операции на стороне перелома снижался уровень кровоснабжения (л/мин) подколенно-берцового сегмента на 10–19%, стопы (*a. dorsalis pedis*) – на 41%, с сохранением гиперперфузии травмированной конечности. Изменение просвета магистральных артерий было противоположным: диаметр *a. poplitea* увеличился (7%), а *a. tibialis posterior* (20%) и *a. tibialis anterior* (2%) уменьшился с сохранением доминирования его (2–18%) в месте перелома. Скорость венозного оттока (л/мин) по глубоким венам снизилась в области подколенно-берцового сегмента в среднем на 43% и осталась практически без изменения в бедренном сегменте. Кроме того, уменьшение скоростных показателей *v. saphena magna* (52%) создавало дополнительные предпосылки для затруднения венозного оттока.

Через 3–4 мес. после операции на стороне травмы по артериям бедренно-подколенного сегмента отмечалось увеличение кровенаполнения. Значение КП (л/мин) выросло по сравнению с предыдущим периодом по *a. femoralis* с  $0,760 \pm 0,190$  до  $0,956 \pm 0,420$ , по *a. femoris superficialis* с  $0,366 \pm 0,123$  до  $0,411 \pm 0,180$ . Изменение показателя по *a. poplitea* с  $0,284 \pm 0,134$  до  $0,385 \pm 0,1180$  стало достоверно превышать не только значение на интактной конечности, но и нормативные. Скорость кровотока в месте травмы при индивидуальном анализе изменялась по *a. tibialis posterior* с  $0,022-0,211$  л/мин (норма  $0,030 \pm 0,015$ ), по *a. tibialis anterior* –  $0,007-0,147$  (норма  $0,012-0,032$ ), по *a. dorsalis pedis* –  $0,005-0,275$  ( $0,012-0,034$ ). В большинстве случаев – от 18 до 700% – кровоснабжение травмированной конечности преобладало над кровенаполнением интактной. Значения КП магистральных вен бедренно-подколенного сегмента

Норма Сроки	Бедро		Голень		Стопа	
	Т	и	т	и	т	и
8–10 дней	1,79±0,73	1,49±0,6	5,19±1,68	3,41±1,54	3,35±1,71	2,44±1,24
1,5–2 мес.	1,28±0,43*	1,51±0,44	5,7±1,49	5,31±1,65	3,02±1,22	3,12±0,75
3–4 мес.	1,58±0,65*	1,68±0,78*	3,82±1,15	4,87±1,77	4,05±1,16	4,45±2,10
6–8 мес.	1,67±0,29*	2,04±0,65*	3,98±1,70	4,93±1,81	3,92±1,84	4,04±1,53
12 мес.	2,28±0,89	2,32±0,59	3,91±0,28	5,16±0,99	3,60±1,20	4,91±1,30

Таблица. Изменение объемной скорости кровотока (Q,  $\text{см}^3/\text{мин}/100 \text{ см}^3$ ) у пациентов (n=17) с внутрисуставным переломом ДМЭБК в восстановительном периоде по сравнению с нормативными значениями, где т – травмированная конечность; и – без травмы, интактная

\* – достоверное изменение показателя кровотока относительно нормы при  $p < 0,05$  по t-критерию Стьюдента

по сравнению с предыдущим периодом увеличилось, что обеспечивало адекватный венозный отток. В месте травмы скорость оттока по *vv. tibiales posteriores* составляла не более 45% от скорости артериального притока, что свидетельствовало о выраженном затруднении венозного оттока по глубоким магистральным венам, которое было частично компенсировано усиленным потоком по *v. saphena magna*.

Через 6–8 мес. на стороне травмы по артериям бедренно-подколенного сегмента отмечалось снижение уровня кровенаполнения, но значение КПА *a. poplitea* по-прежнему достоверно ( $p < 0,05$ ) превышало нормативное. Показатели кровяного потока в месте травмы изменялись по *a. tibialis posterior* в диапазоне от 0,037 до 0,105 л/мин (норма 0,015–0,45), по *a. tibialis anterior* – 0,009–0,293 (норма 0,012–0,032), по *a. dorsalis pedis* – 0,280–0,193 (0,012–0,034) и от 17 до 558% преобладали над кровенаполнением интактной. Отмечалось улучшение венозного оттока.

Через 12 мес. на стороне травмы уровень кровенаполнения по магистральным артериям снизился, причем в бедренном сегменте – до уровня интактной и физиологической нормы. Скорость кровотока находилась в диапазоне по *a. tibialis posterior* от 0,033 до 0,072 л/мин (0,015–0,45), по *a. tibialis anterior* – 0,03–0,085 (0,012–0,032), по *a. dorsalis pedis* – 0,011–0,058 (0,012–0,034), с тенденцией приближения или превышения значения нормы. В большинстве случаев кровоснабжение по магистральным артериям на травмированной конечности от 18 до 100% преобладало над кровенаполнением интактной, что отвечало метаболическим потребностям происходящих репара-

тивных процессов в моделируемых тканях. На стороне травмы усиленный венозный поток по *vv. tibiales posteriores* и *v. saphena magna* соответствовал повышенному притоку по артериям и обеспечивал адекватный отток.

Электромиографическая регистрация биоэлектрической активности (БА) мышц бедра, голени, стопы проводилась при тестирующих нагрузках «произвольное максимальное напряжение или движение» синхронно на поврежденной и интактной конечностях. У всех пациентов на 8–10-й день после операции наблюдалось снижение параметров, отражающих функциональное состояние мышц обеих нижних конечностей в виде асимметричного паттерна ЭМГ. При этом амплитуда БА мышц интактной конечности отличалась от контрольных величин, что позволяет именовать ее и как «условно интактная», а на поврежденной стороне параметры БА мышц были уменьшены по сравнению с интактной, и особенно значительно – по отношению к контрольным величинам. Процент асимметрии БА неоднозначен в различных по вертикальному расположению сегментах конечностей. Так, незначительно выраженное снижение отмечалось на бедре (39–40%), умеренно выраженное (54–73%) – в мышцах голени, выраженное/значительное (60–68%) – в сегменте повреждения. Паттерн БА структурно организован оптимально с обеих сторон. Амплитуда БА мышц бедра уменьшена на поврежденной конечности относительно интактной у всех обследованных пациентов, коэффициент асимметрии средних величин для *m. rectus femoris* составляет 51%, *m. vastus lateralis* – 20%, *m. vastus medialis* – 53%. Такая индивидуально дифференцированная реак-

ция нервно-мышечного аппарата на повреждение в зоне удаленного от травмы сегмента может отражать развитие неврологических механизмов защитного торможения сразу после повреждения кости.

В сегменте голени проведено обследование двух мышц переднелатеральной поверхности, иннервируемых малоберцовым нервом. Амплитуда БА *m. tibialis anterior* асимметрична со снижением на стороне перелома на 72%, на ЭМГ *m. peroneus longus* отклонение составляет по коэффициенту асимметрии 73%. При обследовании моторной функции *m. gastrocnemius medialis*, *m. soleus* (задняя поверхность голени, иннервация *n. tibialis*) также регистрировалась асимметричная БА, более низкая на стороне повреждения и составляющая 60% и 68% соответственно. В мышцах голени (*m. tibialis anterior*, *m. peroneus longus*) через 1,5–2 мес. амплитуда БА незначительно превышала значения (25–45 мкВ), полученные в остром сроке после травмы и операции, амплитуда *m. gastrocnemius medialis*, наоборот, была ниже с разницей средних величин  $42 \pm 12$  мкВ, на ЭМГ *m. vastus lateralis*, *m. vastus medialis* оставалась в прежнем диапазоне (100–140 мкВ). Соотношение с параметрами интактной конечности и контрольными указывало на признаки начального восстановления функциональных возможностей мышц голени. При обследовании мелких мышц стопы моторные тесты удавались с трудом, БА по амплитуде была минимальной или ниже, чем при первоначальном сроке наблюдения. Уменьшился и процент отношения к параметрам интактного сегмента – 32% против 42%. Наиболее значимое ослабление активности мышц выявлено в сегменте

стопы и голени. На бедре требует внимания к дифференцированной реабилитации медиальная головка четырехглавой мышцы.

В течение следующих наблюдений (3–4 и 6–8 мес.) состояние мышц было неустойчивым, изменяясь в зависимости от применяемой реабилитации. Уменьшение коэффициента асимметрии амплитуд считали положительным признаком, однако этот показатель на этапе от 1,5–2 до 3–4 мес. изменился на 7–30%, а через 6–8 мес. оставался стабильным с незначительными отклонениями или отсутствием их на ЭМГ *m. soleus*, *m. vastus medialis*. Более выраженное положительное увеличение амплитуды (на 50–240 мкВ) с приближением к ее уровню на противо-

положной конечности наблюдалось через 12 мес. после операции, при этом уменьшение асимметрии амплитуды БА составляло 20–32%, в структурной характеристике паттернов произвольной БА определялись признаки частичных атрофических перестроек.

При стимуляции малоберцового нерва амплитуды М-ответов *m. extensor digitorum brevis* на проксимальном и дистальном участке низкие (0,7±0,1 мВ и 0,5±0,01 мВ соответственно), скорость проведения уменьшена до 20,0±2,0 м/с на дистальном участке. При стимуляции большеберцового нерва амплитуды М-ответов *m. abductor hallucis* на проксимальном и дистальном участках нерва 1,1±0,2 мВ и 1,9±0,4 мВ соответственно, более низкие на стороне перелома – на 40–50%; скорость эфферент-

ного проведения на проксимальном сегменте конечности имела умеренные отклонения, составляя от 36,6 ±1,2 м/с и до минимально допустимого 40–41 м/с, на дистальном сегменте эфферентная скорость замедлена на всех этапах обследования – от 25±0,2 м/с и до 21±1 м/с. Отклонения силовых и временных параметров вызванных моторных ответов указывают на вовлечение нервно-мышечных образований в общее суставное повреждение, а также возможность восстановления характеристик обоих периферических нервов и моторной функции конечности.

### Клинические примеры

На рис. 1, 2 представлены рентгеновские снимки и данные ЭМГ-обследования пациента Т., 1992 г.р., с диагнозом: закрытый перелом нижней трети обеих костей правой голени со смещением отломков. Выполнена операция: открытая репозиция, остеосинтез дистального отдела большеберцовой кости L-пластиной с блокированием винтов, малоберцовой кости 1/3 трубчатой пластиной.

На ЭМГ видна асимметричная БА сниженной амплитуды, частоты, с признаками редуцированной формы справа (верхняя кривая) относительно интактной конечности (нижняя кривая). М-ответ *m. extensor digitorum brevis* (потенциал на верхней кривой) при стимуляции *n. peroneus* в стандартном отведении у головки малоберцовой кости хорошо выражен по структуре, снижен по амплитуде на 80%, потенциал М-ответа при стимуляции нерва у предплюсны минимален по амплитуде, изменен по структуре.

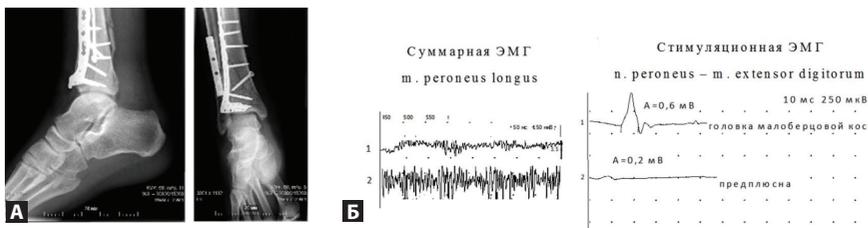


Рис. 1. А – копия рентгенограммы через 8 дней после накостного остеосинтеза пластиной с угловой стабильностью с хорошей адаптацией костных фрагментов, правильными осевыми соотношениями; Б – результаты суммарной ЭМГ *m. peroneus longus* при произвольном напряжении и стимуляционной ЭМГ (*m. extensor digitorum brevis* при электростимуляции *n. peroneus*)

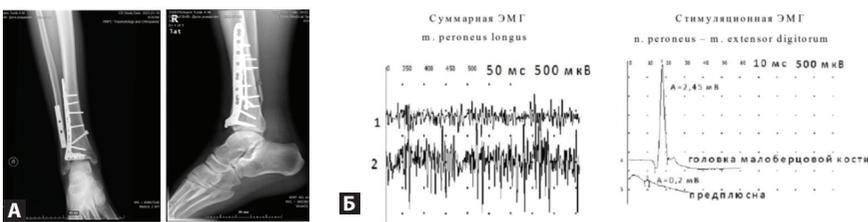


Рис. 2. А – копия рентгенограмм, выполненных через 1,5 мес. после накостного остеосинтеза пластиной с угловой стабильностью с хорошей адаптацией костных фрагментов, с признаками перестройки первичного регенерата и реституцией костной ткани, в метадиафизарной зоне сохраняется тень линии перелома; Б – результаты суммарной ЭМГ *m. peroneus longus* при произвольном напряжении и стимуляционной ЭМГ (*m. extensor digitorum brevis* при электростимуляции *n. peroneus*)

Через 1,5 мес. (рис. 2) видны положительные изменения параметров амплитуды, частоты, структуры ЭМГ, которые не достигают значений на интактной конечности. Амплитуда М-ответа на дистальном сегменте выше на 1,85 мВ относительно исходного.

На рис. 3, 4 – рентгеновские снимки и ЭМГ-данные пациентки С., 51 г., с гололедной травмой: перелом дистального метаэпифиза правой большеберцовой и малоберцовой кости со смещением отломков. Через 3 мес. реабилитации: амплитуда БА составила от величины активности интакт-

ной мышцы 77%, частота и структура паттерна активности симметричны. Амплитуда М-ответа *m. extensor digitorum brevis* составила при стимуляции малоберцового нерва дистально 2,2 мВ и локально к травме – 1,7 мВ с сохранением их стандартной двухфазной формы. На рентгенограммах видна перестройка первичного регенерата, с формированием трабекулярной структуры костной ткани в метадиафизарной зоне.

На рис. 4 (6 мес. после операции) представлено увеличение параметров амплитуды и частоты БА *m. peroneus longus* при произвольном максимальном напряжении билатерально и амплитуды М-ответа *m. extensor digitorum brevis* (60% и 64%) при стимуляции малоберцового нерва на двух уровнях. На рентгенограммах основная масса метадиафизарной области имеет нормальную трабекулярную структуру, есть признаки ремоделирования кортикальных участков, тень линии перелома почти не прослеживается.

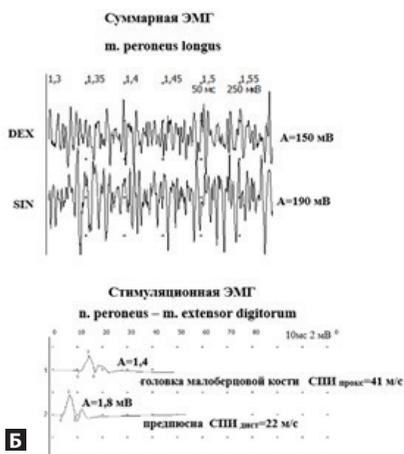


Рис. 3. А – копии рентгенограмм через 3 мес. после накостного остеосинтеза пластиной с угловой стабильностью с хорошей адаптацией костных фрагментов; Б – результаты суммарной ЭМГ *m. peroneus longus* при произвольном напряжении и стимуляционной ЭМГ (*m. extensor digitorum brevis* при электростимуляции *n. peroneus*), указывающие на умеренное снижение амплитуды моторных ответов и скорости проведения импульса

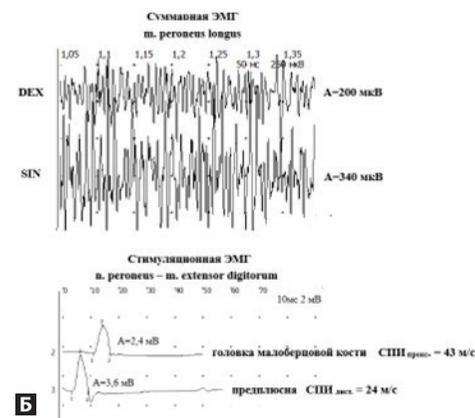


Рис. 4. А – копии рентгенограмм через 6 мес. после накостного остеосинтеза пластиной с угловой стабильностью с хорошей адаптацией костных фрагментов; Б – результаты суммарной ЭМГ *m. peroneus longus* при произвольном напряжении, демонстрирующие умеренную степень недостаточности параметров мышечной активности на стороне травмы (справа), и стимуляционной ЭМГ (*m. extensor digitorum brevis* при электростимуляции *n. peroneus*), указывающие на умеренное снижение силовых и временных моторных параметров

## Выводы

На основании сравнения полученных количественных параметров регионарного кровотока, произвольной и вызванной активности мышц с рентгенологическими характеристиками на этапах остеогенеза после хирургического лечения переломов ДМЭБК установлено:

- при стадиях образования и перестройки первичного регенерата и реституции костной ткани (до 2 мес.) отмечается выраженная степень нарушения функции мышц с умеренным снижением моторной проводимости периферических нервов и гипер-

перфузия по магистральным артериям (50–750%);

- рентгенологически стадия консолидации (3–4 мес. после операции) с хорошей адаптацией костных фрагментов характеризуется правильными осевыми соотношениями суставных поверхностей, признаками формирования костной мозоли между отломками в метадиафизарной зоне, на стороне травмы отмечается гиперперфузия по магистральным артериям с преобладанием кровотока (л/мин) на уровне травмы (18 до 700%). Количественные показатели объемного мышечного кровотока травмированного сегмента достигают нормальной васкуляризации. Структурные и количественные параметры мышц отличаются от параметров мышц интактной конечности на 50% и более;
- при репаративном ремоделировании (4–6 мес.) рентгенологически отмечается перестройка первичного регенерата и реституция костной ткани в метадиафизарной зоне, сохраняется тень перелома, гиперперфузия по магистральным артериям снижается и составляет 17–550%.

■ **Summary.** Evaluation of regional hemodynamics and functional condition of the lower extremity muscles of the lower leg, motor activity of two periphery nerves in patients who sustained the intra-articular fractures of the distal tibia was performed at 8–10 days; 1,5–2, 3–4 and 6–12 months after the surgical treatment with open reduction and plate fixation. Physiological analysis of the restoration of natural and evoked neuro-muscular activity, regional blood supply in cases with good adaptation of the bony fragments allowed to perform quantitative evaluation of the muscular activity level, degree of revascularization and the compensation of the initial and secondary circulatory disorders of the blood supply during different phases of reparative osteogenesis. During stages of fracture union and remodeling all patients demonstrated disorders of muscular and peripheral nerves function, hyperperfusion on main arteries with increased vascularization of the injured segment. Normalization of the parameters of neuro-muscular activity and regional blood supply was not yet completed by the time of bony union (by radiological data). Significant or moderate degree of disorders of muscular function with moderate or insignificant decrease of motor conduction of n.peroneus in the distal segment (level of the forefoot) with insignificant decrease or normal level of motor conduction of n.tibialis, hyperperfusion on main arteries with normal vascularization of the injured segment. The received data build the basis for the definition of the criteria of anatomical-functional compliance between bony union and restoration of the motor activity of the muscles.

■ **Keywords:** intra-articular distal tibia fracture, regional blood supply, muscle activity, blood flow, motor conduction, periphery nerves, radiogram.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2024-12-67-73>

Мышечный кровоток находится в диапазоне нормальной васкуляризации. Параметры произвольной и мышечной активности стабильны или изменяются незначительно с увеличением 15–20%;

- в стадии адаптивного ремоделирования костной ткани (через 12 мес.) линия перелома едва прослеживается, сохраняется костный шов в виде полоски остеосклероза, гиперперфузия по магистральным артериям снижается до 18–100%, сохраняется

нормальная васкуляризация мышц травмированного сегмента, параметры произвольной и вызванной активности мышц увеличиваются, но еще не достигают уровня на интактной конечности в сочетании с элементами дефигурации паттерна произвольной ЭМГ и вызванного электростимуляцией периферического нерва мышечного М-ответа. ■

Статья поступила в редакцию  
31.05.2024 г.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Повышение эффективности реабилитации инвалидов с псевдоартрозами при выборе обоснования оперативного стандарта в зависимости от вида несращения / Бауэр И.В. [и др.] // [www.ngmu.ru/coro/mos/article/text\\_full.php](http://www.ngmu.ru/coro/mos/article/text_full.php).
2. Современные взгляды на оперативное лечение пациентов с переломами пилона / Бельский И.Г. [и др.] // <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27955>.
3. Гайко Г.В. Теоретические аспекты физиологической и репаративной регенерации костей с позиций системных представлений / Г.В. Гайко, А.Т. Бруско // Журнал НАМН Украины. 2013. №4. С. 471–481.
4. Традиционный и малоинвазивный остеосинтез в травматологии / Гайко Г.В. [и др.] // Ортопедия, травматология и протезирование. 2000. №2. С. 73–76.
5. Горидова Л.Д. Репаративная регенерация кости в различных условиях / Л.Д. Горидова, Н.В. Дедух // Травма. 2009. Т. 10. №1. С. 88–91.
6. Долганова Т.И. Реакция магистрального кровотока у пострадавших с полисегментарными переломами нижних конечностей при лечении методом черескостного остеосинтеза / Т.И. Долганова, А.Г. Карасев, Д.В. Долганова // Чаклиновские чтения: мат-лы науч.-практ. конф. травматологов-ортопедов с международ. участием. – Екатеринбург, 2011. С. 43–45.
7. Ерофеев С.А. Лечение больных хроническим остеомиелитом длинных трубчатых костей на основании использования армирующего локального антибактериального носителя / С.А. Ерофеев, Г.Г. Дзюба, Д.И. Одарченко // Гений ортопедии. 2013. №4. С. 25–29.
8. Жуперин А.Е. Изменения сократительной способности мышц голени при переломах берцовых костей / А.Е. Жуперин, В.А. Овчинников, К.В. Беляков // Флебология. 2009. №4. С. 32–35.
9. Климовицкий В.Г. Клеточные механизмы нарушения репаративного остеогенеза // Ортопедия, травматология и протезирование. 2011. №2. С. 5–16.
10. Корж Н.А. Репаративная регенерация кости: современный взгляд на проблему. Стадии регенерации / Н.А. Корж, Н.В. Дедух // Ортопедия, травматология и протезирование. 2006. №1. С. 77–84.