

© Коллектив авторов, 2004

**АНАТОМО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ МЫШЦ В УСЛОВИЯХ ЧРЕСКОСТНОГО ДИСТРАКЦИОННОГО ОСТЕОСИНТЕЗА (КЛИНИКА, ЭКСПЕРИМЕНТ — ФАКТЫ И ГИПОТЕЗА)***А.В. Попков, Л.А. Гребенюк, Г.Н. Филимонова, Д.А. Попков*

Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. Г.А. Илизарова, Курган

*На основе анализа клинического и экспериментального материала рассмотрены вопросы биомеханики скелетной мышцы при оперативном удлинении голени методом чрескостного дистракционного остеосинтеза, ее функциональное состояние, а также морфологические изменения (экспериментальный материал). Электрофизиологический контроль показал, что активность мышц падает с первых дней удлинения, но тонус мышцы значительно повышается. При ультрасонографии мышц в процессе удлинения выявлена переориентация мышечных пучков параллельно силам растяжения. В периоде фиксации отмечено локальное утолщение мышечных пучков, а после снятия аппарата — восстановление структуры и восстановление контрактильной способности мышц удлиненного сегмента. Морфологическими исследованиями установлено, что при дистракции в мышцах увеличивается объемная плотность соединительной ткани, параллельно происходят процессы деструкции и репаративной регенерации мышечных волокон. Показано, что после одномоментной компрессии костного регенерата стромально-паренхиматозные отношения в мышце сдвигаются в сторону паренхимы. Обоснована необходимость активной тренировки мышц конечности при ее удлинении.*

*Analysis of clinical and experimental data related to biomechanical, functional and morphological changes of skeletal muscles in surgical crus lengthening by transosseous distraction osteosynthesis was presented. It was electrophysiologically proved that muscle activity decreased starting from the first days of lengthening while muscle tonus significantly increased. Sonography showed that muscle bands reoriented parallel to distraction forces. In fixation period local thickening of muscle bands was detected. After device removal muscle structure and muscle contractivity of the lengthened segment restored. Morphological studies showed that during distraction the volumetrical density of connective tissue in muscles increased and simultaneously destruction and reparative regeneration of muscle fibers were noticed. It was shown that after single-step compression of bone regenerate, stroma-parenchyma relationship was shifted to parenchyma. Active training of muscles was stipulated because inner tension of the muscles prevented the development of destructive processes, stimulated regeneration of muscles fibers. All those processes made up the base for functional rehabilitation of loco-motor system both in patients with orthopaedic pathology and in healthy subjects at surgical increasing of height with cosmetic purpose.*

Динамика показателей заболеваемости населения России в группе «Врожденные аномалии» (по МКБ 10) демонстрирует выраженную тенденцию к их росту. Так, если в 1993 г. число детей и подростков с врожденными аномалиями, среди которых на пороки развития опорно-двигательного аппарата приходится 40–50%, составляло 17,4 в расчете на 1000 населения данной возрастной категории, то в 1998 г. — 28,2 [2]. Согласно данным комитета экспертов ВОЗ, за последнюю четверть века частота врожденных аномалий развития скелета у детей удвоилась.

Проблема лечения врожденных пороков развития конечностей несмотря на почти трехвековую историю ее изучения остается трудноразрешимой. В настоящее время все чаще используются методики чрескостного остеосинтеза, в основе которых лежит принцип дозированного исправления деформаций, круглосуточного высокодробного автомати-

ческого удлинения отстающего в развитии сегмента конечности [14]. Как правило, удлинение конечности сопряжено с формированием контрактур смежных суставов, что требует более или менее длительной реабилитации. С нашей точки зрения, понимание механического поведения мышцы во время удлинения конечности, подкрепленное морфологическими исследованиями, должно помочь врачу-ортопеду осознанно использовать все возможности для профилактики осложнений и сокращения сроков реабилитации.

Опыт удлинения различных сегментов конечностей более чем у 2 тыс. больных с врожденными укорочениями или с недостаточным ростом позволяет утверждать, что основная трудность заключается в функциональной реабилитации нервно-мышечного аппарата конечности.

Целью данной работы явилось изучение состояния скелетных мышц на органном и клеточном

уровне при удлинении голени у экспериментальных животных (собаки) и на органном уровне у человека.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Ультразвуковой мониторинг передней группы мышц голени проведен у 13 здоровых взрослых людей, которым для достижения косметического результата увеличивали с помощью аппарата Илизарова длину обеих голеней на 2,5–7 см (12–20% от исходной длины). Аналогичные исследования выполнены у 32 больных с врожденным укорочением конечности, которым также было произведено оперативное удлинение голени на 3–8 см (15–23% от исходной длины). Возраст пациентов колебался от 6 до 37 лет. Использовали ультразвуковые сканеры Sonoline SI-450 («Siemens», Германия), ультразвуковую установку с эхокамерой SSD-630 («Aloka», Япония) и датчики с несущей частотой 7,5 МГц. При исследовании мышц голени больной находился в положении лежа на спине, стопа — в нейтральном положении. Ультразвуковое сканирование выполняли продольно, т.е. при параллельном расположении датчика относительно анатомической оси нижней конечности.

В экспериментах на взрослых беспородных собаках производили удлинение голени в темпе 1 мм в сутки за 4 приема (всего 24 случая). Величина удлинения составила до 15–17% от исходной длины голени. Животных выводили из опыта через 14 и 28 дней distraction (2 случая), материал для исследования обрабатывали по стандартной электронно-микроскопической методике, продольные полутонкие срезы окрашивали метиленовым синим-основным фуксином. Стереологический анализ мышц проводили, используя поперечные криостатные срезы передней большеберцовой мышцы с выявленной активностью миозиновой АТФ-азы по Raducula, Herman в модификации З. Лойда, животных выводили из опыта через 28 дней distraction, 1 мес фиксации и 1 мес после снятия аппарата (19 случаев). Для сравнения анализировали результаты, полученные на мышцах интактного сегмента (3 случая). Тестовую решетку совмещали с изображениями препаратов мышц на матовом экране проекционного микроскопа «Визопан» и подсчитывали количество тестовых точек, попавших на определенные структуры (объемная плотность), число контуров структур пересечений с тестовой линией (поверхностная плотность), а также число мышечных волокон и микрососудов в тестовом поле зрения.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Нужно подчеркнуть, что метод чрескостного distractionного остеосинтеза по Илизарову отличается наименьшей травматичностью оперативного вмешательства (продольный разрез кожи и фасции длиной 0,5 см, частичная кортикотомия или остеоклазия практически не повреждают мышеч-

ное брюшко, сухожилие мышцы не подвергается хирургическому удлинению) и на сегодняшний день остается лучшей моделью для изучения морфологического строения и функционального состояния тканей удлиняемой конечности.

Биомеханическая модель поперечно-полосатой мышцы, по мнению А. Хилла [10], должна включать сократительный элемент (комплекс миофибрилл), последовательный упругий компонент (сухожилие) и параллельный упругий компонент. Совокупность эндо-, пери- и эпимизия и представляет собой параллельный упругий элемент мышечной модели. Наружный каркас мышечного волокна и все оболочки мышцы в целом играют важную роль в поддержании формы мышечного волокна, архитектуры мышечных пучков и внутримышечного давления [1, 3, 8, 17–19].

Анализ клинического материала выявил ряд противоречий в понимании биомеханики удлиняемой мышцы, ее функционального состояния.

При удлинении сегмента конечности, например аппаратом Илизарова, мышцы подвергаются значительному растяжению. Казалось бы, что если жесткость сухожилия выше, то удлиняться должно только брюшко мышцы. Однако экспериментальные и клинические исследования, проведенные в РНЦ «ВТО» им. Г.А. Илизарова, убедительно показали, что удлиняется, и значительно, последовательный упругий компонент мышцы, т.е. сухожилие.

При оперативном удлинении голени животного после остеотомии на уровне диафиза большеберцовой кости отмечено, что достоверно уменьшаются объем и масса мышцы (на 20–30%) [5]. Длина брюшка икроножной мышцы достоверно не меняется, но значительно удлиняется сухожилие (на  $14,8 \pm 0,3\%$  от исходной длины). Через 2 мес фиксации начинают нарастать объем и масса мышцы, достоверно увеличивается толщина мышечного брюшка (на  $6,8 \pm 0,6\%$  для икроножной мышцы). Через 120–180 дней после удлинения морфологических и анатомических отличий от интактной конечности в брюшке мышц нет. Сохраняется увеличение длины сухожилия.

Клинико-нейрофизиологические данные, полученные при устранении неравенства длины верхних и нижних конечностей врожденной и приобретенной этиологии, свидетельствуют о появлении в процессе distraction признаков глубокой структурной перестройки в периферической части двигательных единиц, нарушений нейротрофического контроля мышечных волокон, снижении контрактных характеристик мышц и их суммарной биоэлектрической активности [6, 13]. Электрофизиологический контроль показал, что активность мышц падает практически до нуля с первых дней удлинения. Следовательно, тонус мышцы также должен был бы снижаться. На самом же деле он повышается, и значительно. Например, в процессе удлинения бедра у больных ахондроплазией отме-

чалось увеличение показателя упругости мышц в 4,67 раза с последующим снижением его после снятия аппарата и стабилизацией на уровне, превышающем исходный на 38–43% [15, 16].

При ультразвуковом исследовании структуры мышц голени человека выявлено, что в условиях дозированного растяжения изменялась макроструктура мышечной ткани (рис.1). Происходила переориентация мышечных пучков, которые постепенно располагались параллельно силам дистракции. К концу дозированного растяжения мышечные пучки очень тесно прилегали друг к другу — становились как бы плотно упакованными. В некоторых случаях структура мышц приобретала выраженный гиперэхогенный характер («эффект матового стекла»).

В периоде фиксации изменения в структуре мышц удлинённой голени, произошедшие к концу дистракции, сохранялись несколько месяцев. Процесс восстановления «рисунка» мышечной структуры, визуально близкого к изображению мышц неудлинённой голени, протекал довольно медленно (не менее 2–4 мес). Следует отметить, что в условиях чрескостного остеосинтеза в процессы регенерации и роста вовлекаются все компоненты удлиняемого сегмента конечности. Регенерация мышечной ткани происходит параллельно формообразовательным процессам в костной ткани, которые протекают в течение длительного времени. Органотипическая перестройка костного дистракционного регенерата завершается через 12–16 мес после снятия аппарата Илизарова. Достаточно продолжительно протекают восстановительные процессы и в мышечной ткани. Проведенные нами исследования показали, что по мере того, как ход мышечных пучков, по данным ультрасонографии, все больше приближался к норме (рис. 2), расширялись функциональные возможности оперированной конечности, становилось возможным выполнение неинвазивного тестирования контрактильной способности мышц. Еще в периоде фиксации при произвольном мышечном сокращении наблюдались небольшие изменения в характере взаимного расположения мышечных пучков, определялось локальное их утолщение. В то же время в других (соседних) участках мышечной ткани изменений структуры не выявлялось. Следовательно, восстановительные процессы в разных областях удлинённой мышцы в периоде фиксации происходят неодновременно. После снятия аппарата Илизарова воссоздание мышечной структуры и восстановление контрактильной способности отмечено во всех участках сканированной мышцы. По истечении 6 мес после снятия аппарата структура мышц удлинённых голени пациентов с недостаточным ростом, по данным сонографии, не отличалась от таковой до удлинения.

Представляет интерес характеристика структуры мышц врожденно укороченной голени. Нами установлено, что до удлинения атрофия передней

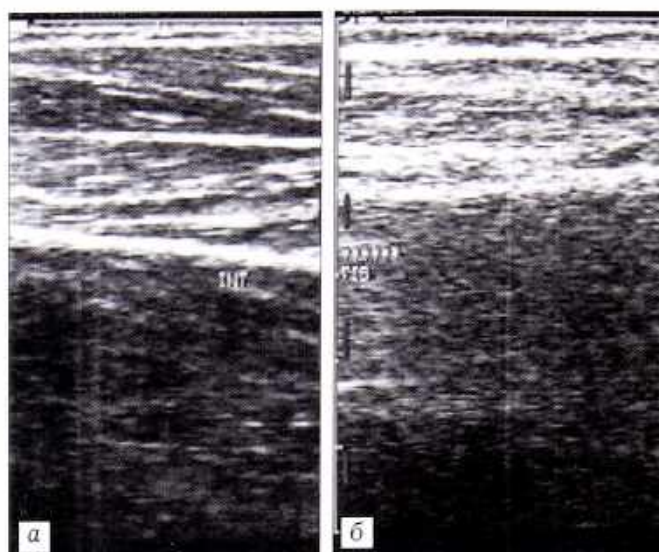


Рис. 1. Сонограммы передней группы мышц голени до операции (а) и на 24-й день дистракции (б) пациента С. 33 лет (оперативное удлинение обеих голени с целью получения косметического эффекта — увеличения анатомической длины сегментов).

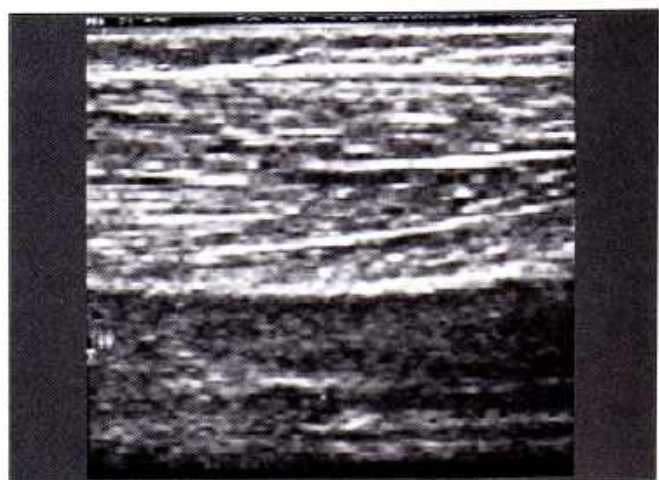


Рис. 2. Сонограмма передней группы мышц голени через 2 мес после удлинения.

группы мышц укороченной голени была выражена у всех больных в большей или меньшей степени. Выявлено также, что угол расположения мышечных пучков передней большеберцовой мышцы пораженной голени относительно продольной оси конечности был меньше, чем на интактном сегменте. Другая особенность структурного состояния передней группы мышц, отмеченная у больных с аплазией малоберцовой кости, — нечеткая дифференциация мышечной ткани на мышечные пучки и межпучковые пространства в покое. Более выраженная структурированность мышцы на пучки проявлялась лишь при максимальном произвольном мышечном напряжении, когда угол наклона пучков увеличивался до 6°.

При морфологическом исследовании экспериментального материала установлено, что при уд-

линении голени в скелетных мышцах имеются как признаки деструкции, так и признаки регенерации и роста. Известно, что миофибриллы высокочувствительны к нарушениям метаболизма [11] — более, чем митохондрии, поэтому их изменения при дистракции в любом режиме, по-видимому, неизбежны. Через 14 дней удлинения в передней большеберцовой мышце присутствуют признаки контрактурных изменений мышечных волокон II–IV степени, при которых происходит пересокращение миофибрилл из-за нарушения энергообмена в клетке. I и II степени контрактур — обратимые явления, IV степень — распад анизотропной субстанции на глыбки. При этом наблюдается интенсивное окрашивание и комковатость цитоплазмы, что указывает на повышенную проницаемость клеточных мембран [11, 12]. Кроме того, при дистракции в мышце выявлялись участки, замещенные соединительной тканью и жиром. Вероятно, описанные патоморфологические изменения, наблюдаемые в передней большеберцовой мышце при дозированном удлинении голени, могут объясняться — наряду с влиянием метаболических факторов — травмирующими воздействиями, которые испытывает паренхима мышцы [9].

Вместе с тем под воздействием фактора напряжения растяжения в пароссальных тканях индуцируются процессы регенерации и интеркалярного роста («эффект Илизарова»). В мышцах удлиняемой голени отмечается обилие активированных миосателлитоцитов, что характерно для регенерирующей мышечной ткани. Отметим, что аналогичное явление наблюдается в мышце в процессе ее естественного роста (у щенков) [9]. Для этих клеток характерно светлое ядро, в котором преобладает деспирализованный хроматин, что служит одним из признаков биосинтетической активности клетки (наряду с многочисленными рибосомами и развитым эндоплазматическим ретикулумом); гетерохроматин определяется в виде небольших темных гранул, имеется одно или два ядрышка [4].

Количественный анализ морфологического материала *m. tibialis anterior* при оперативном удлинении голени у экспериментальных животных позволил установить, что этот процесс сопровождается увеличением доли соединительной ткани в мышце. Объемная плотность соединительной ткани через 28 дней дистракции составила 166% от таковой на интактной конечности, а в конце эксперимента возросла до 488%, т.е. при дистракционном остеосинтезе происходит существенный прирост этого показателя. От величины анатомического удлинения напрямую зависит и величина относительного объема мышечных волокон в единице тестовой ткани — увеличение длины голени приводило к уменьшению относительного объема мышечных волокон и значительному повышению их поверхностной и численной плотности ( $p < 0,001$ ). Динамика численной плотности мышечных волокон по срокам эксперимента (28 дней дистракции,

30 дней фиксации, 30 дней после снятия аппарата) при дистракционном остеосинтезе составила соответственно 114, 185 и 168% от значений на интактной конечности.

Мы рассматриваем механизм удлинения мышцы при дистракционном остеосинтезе следующим образом. Соединительнотканые оболочки мышцы (эндомизий, перимизий и эпимизий) анатомически тесно связаны с сухожилием, которое является их естественным продолжением. Благодаря решетчатому расположению пучков коллагеновых волокон происходит растяжение этого соединительнотканного каркаса. Углы пересечения волокон максимально уменьшаются, уменьшается периметр мышечного брюшка.

Мышечное волокно окружено эндомизием. Тончайшие прослойки соединительной ткани, окружающие отдельные мышечные волокна, представлены рыхло расположенными коллагеновыми волокнами, фибробластами и аморфным веществом. Миофибриллы не соединены непосредственно с сухожилием и практически не испытывают напряжения растяжения, сохраняя свою исходную длину, а некоторые сокращаются за счет контрактур.

Соединительнотканые структуры мышцы под воздействием напряжения растяжения вытягиваются до предела, обеспечиваемого эластичными свойствами ткани, смещаясь относительно миофибрилл в дистальном направлении. Дальнейшее растяжение вызывает естественное «желание» ткани сохранить исходное состояние — в результате активизируется функция фибробластов; продукция новых порций коллагеновых волокон приводит к тому, что плотно упакованные продольно вытянутые решетки эпи- и перимизия сливаются дистальнее мышечного брюшка в единое целое как продолжение сухожилия.

Усиление продукции соединительной ткани (пролиферация клеточных элементов, новообразование волокон, утолщение и уплотнение их пучков) негативно сказывается на функции мышечной ткани: доказана атрофия мышечных волокон и даже их деструкция, на фоне сосудистых нарушений морфологи отмечают увеличение массы соединительнотканых прослоек и уменьшение площади поперечных срезов пучков мышечных волокон. Однако атрофия пучков мышечных волокон, деструкция мышечных волокон развивается не под воздействием непосредственно растяжения, а под воздействием напряжения поперечного сдавления со стороны анатомического каркаса мышцы (рис. 3).

Соединительнотканые оболочки мышцы с первых дней удлинения конечности находятся под воздействием пассивного растяжения, и условно можно выделить три фазы в процессе анатомо-функциональной адаптации мышцы к условиям дистракционного остеосинтеза:

- фаза преимущественного растяжения, когда удлинение происходит за счет изменения решетки

соединительнотканых структур мышц и деспирализации коллагенового волокна (продолжается 2–4 нед);

- фаза отсроченной регенерации коллагенового волокна, когда на фоне полного растяжения значительно увеличивается масса коллагеновых волокон, уплотняются их пучки, возрастает площадь, занимаемая соединительноткаными структурами, и уменьшается масса паренхимы мышцы (продолжается до момента прекращения удлинения конечности);

- фаза реабилитации — восстановление спиралевидности коллагеновых волокон и архитектуры решетки коллагеновых пучков (продолжается с момента прекращения дистракции до момента полного функционального восстановления).

Главная отрицательная сторона второй фазы удлинения мышцы — это сдавление волокон со стороны соединительнотканых оболочек. Общее усилие, которое приходится преодолевать аппаратом Илизарова при удлинении нижней конечности, достигает 600–700 Н. Доля сопротивления со стороны мышц колеблется от 16 до 39%. Противодействовать сдавлению можно, только активно повышая внутреннее напряжение, т.е. активным сокращением миофибрилл. По сути дела, в условиях максимального натяжения соединительнотканых структур мышц единственным способом противодействия может быть изометрическое сокращение мышц удлиняемой конечности.

В методических рекомендациях РНЦ «ВТО» им. Г.А. Илизарова подчеркивается необходимость применения ЛФК для смежных суставов. Однако зачастую ЛФК сводится к пассивным движениям в суставе. Это действительно оказывает положительное влияние на все ткани сустава и удлиняемого сегмента. Но по мере удлинения конечности амплитуда движений постепенно уменьшается, и наконец наступает такой момент, когда попытка согнуть сустав вызывает только дополнительное сдавление пучков мышечных волокон, оказывая явно отрицательное воздействие. В этих условиях на первый план в борьбе за функциональную полноценность конечности в целом и каждой мышцы в отдельности должны выйти физиотерапевтические мероприятия, включающие активные сокращения мышцы, электромиостимуляция. Противодействовать сдавлению мышечных волокон со стороны соединительнотканых оболочек можно только активным внутренним напряжением, т.е. активной сократительной деятельностью.

Уровень внутримышечного давления напрямую зависит и от объема циркулирующей в мышце крови. Поперечнополосатая мышца обладает развитой сосудистой сетью. Капиллярная сеть широко разветвляется в эндомизии и играет определенную роль не только в питании мышечных волокон, но и в сопротивлении растяжению мышцы. Выраженное увеличение объема соединительной ткани эндомизия и перимизия свидетельствует и о недо-

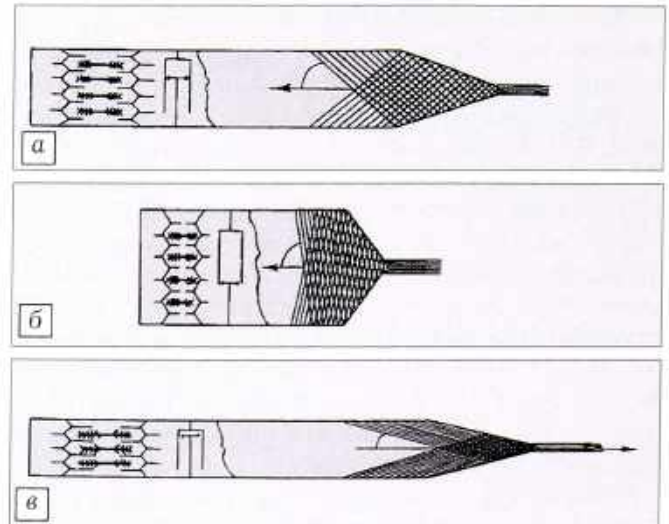


Рис. 3. Функциональная модель скелетной мышцы: а — состояние покоя; б — состояние сокращения; в — состояние во время удлинения конечности.

статочности кровоснабжения. Растяжение, превышающее эластичность соединительнотканых структур мышцы, несомненно, ведет к перерастяжению сосудов, сужению просвета капилляров, затруднению тока крови. Эта ситуация еще более усугубляется, если возрастает вязкость крови.

Мы считаем, что в таких условиях электростимуляция мышц удлиняемой конечности, циклическое внутреннее напряжение будут оказывать благоприятное влияние на кровообращение за счет так называемого активного «мышечного насоса». Периодическое сокращение мышечных волокон повышает внутреннее напряжение мышцы, препятствуя сдавлению и деструкции мышечных волокон, а улучшение кровотока по капиллярам, повышение оксигенации благоприятно сказывается на трофике тканей, стимулирует размножение мышечных клеток, препятствует избыточному росту соединительной ткани. Несомненно, должное внимание следует уделять контролю и коррекции реологических свойств крови.

Третья фаза начинается с момента прекращения удлинения конечности. Период релаксации — это начало восстановления структурной решетки оболочек мышечного брюшка. Вначале восстанавливается спиралевидный характер коллагенового волокна. Это очень важный момент функциональной реабилитации мышцы. В результате снижается внешнее давление на мышечное волокно, улучшаются условия капиллярного кровотока и функционирования нервно-мышечных синапсов, появляется запас пространства для увеличения периметра мышечного брюшка как за счет сокращения в актомиозиновом комплексе, так и за счет регенерации новых мышечных волокон. Улучшение капиллярного кровотока и оксигенации тканей способствует регенерации паренхимы мышцы и снижает пролиферацию соединительной ткани.

Ускорить период релаксации можно, если одномоментно сблизить костные фрагменты удлиняемого сегмента на «высоту зоны роста костного регенерата», т.е. на 1–5 мм (этот прием предложен В.И. Шевцовым и А.В. Попковым в 1994 г. для стимуляции регенераторного процесса кости [7]). Сблизение точек прикрепления мышцы ведет к быстрому восстановлению спиралевидности коллагенового волокна в составе соединительнотканых структур мышцы. Появляется запас пространства для утолщения мышечного волокна во время активного сокращения миофибрилл. В этот период создаются благоприятные биомеханические условия для активной функциональной реабилитации мышцы.

Наши морфологические исследования (с использованием стереологического анализа) показали, что снижение (сброс) дистракционных усилий после компрессии стимулирует развитие паренхиматозных элементов — мышечных волокон и вызывает некоторую редукцию стромы в сравнении с тем, что наблюдается при классическом удлинении конечности. Данный факт подтверждается вторичным параметром — отношением объемной плотности соединительной ткани к объемной плотности мышечных волокон: при классическом дистракционном остеосинтезе через 1 мес после снятия аппарата этот показатель составляет 396%, а при последовательном дистракционно-компрессионном остеосинтезе — лишь 138% от значений на интактном сегменте. По окончании удлинения в эксперименте объемная плотность мышечных волокон при дистракционно-компрессионном остеосинтезе была в 1,3 раза выше и приближалась к значению интактной мышцы. Относительный объем мышечных волокон в единице тестовой ткани при дистракционно-компрессионном остеосинтезе был на 17% больше, а относительный объем соединительной ткани — на 14,3% меньше, чем при дистракционном остеосинтезе.

Таким образом, исследование передней большеберцовой мышцы с использованием стереологического анализа позволило выявить следующее:

1) при дистракционно-компрессионном остеосинтезе по окончании эксперимента васкуляризация мышечной ткани в 1,9 раза выше, чем при дистракционном остеосинтезе, при этом площадь гематотканевой диффузии одинакова;

2) численная плотность микрососудов и мышечных волокон при дистракционно-компрессионном остеосинтезе достоверно выше, чем при дистракционном; минимальное межкапиллярное расстояние и радиус цилиндра мышечных волокон, снабжающихся одним капилляром путем диффузии, при дистракционно-компрессионном остеосинтезе меньше;

3) по окончании эксперимента объемная плотность эндомизия при дистракционно-компрессионном остеосинтезе в 2,2 раза ниже, чем при дистракционном; это позволяет предположить, что при

дистракционно-компрессионном остеосинтезе стромально-паренхиматозные отношения сдвигаются в сторону паренхимы. Преобладают более крупные мышечные волокна с меньшим количеством соединительнотканых прослоек.

Лечебно-восстановительный комплекс в этот период должен включать прежде всего упражнения, связанные с активным сокращением мышцы, с увеличением амплитуды движений в суставах. Повысить внутримышечное давление можно только за счет поступления нервного импульса на мышечное волокно и сокращения саркомеров миофибрилл. Этот процесс можно ускорить, если к активным систематическим занятиям ЛФК дополнительно подключить сеансы электромиостимуляции. Одним из перспективных направлений является включение в лечебно-реабилитационный процесс методик функционального биоуправления. Активная тренировка мышцы, повышение ее внутреннего напряжения стимулирует регенерацию мышечных волокон и способствует восстановлению архитектоники пучков коллагеновых волокон соединительнотканых оболочек, оказывает благоприятное влияние на кровообращение мышцы. Все эти процессы взаимосвязаны и лежат в основе функциональной реабилитации пациента.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вайн А.А., Эрелине Я.Я. Алгоритм анализа биомеханических свойств скелетных мышц: Ученые записки Тартуского ун-та. — 1985. — Вып. 723. — С. 122–137.
2. Государственный доклад о состоянии здоровья населения Российской Федерации в 1998 году (Минздрав РФ, РАМН). — М., 1999.
3. Гурфинкель В.С., Левик Ю.С. Скелетная мышца: структура и функция. — М., 1985.
4. Данилов Р.К., Клишов А.А. //Арх. анат. — 1981. — N 1. — С. 95–107.
5. Дьячкова Г.В. Мышечно-фасциальный аппарат голени при удлинении ее по методу Илизарова: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. — Курган, 1981.
6. Криворучко Г.А., Шейн А.П. //Мед-биол. конф. молодых ученых Кургана, 1-я: Тезисы докладов. — Курган, 1976. — С. 74–76.
7. Пат. 2071740 РФ, МКИ<sup>6</sup> А61 В17/56. Способ стимуляции репаративного процесса кости /В.И. Шевцов, А.В. Попков. — Бюл. изобрет. — 2001. — N 2.
8. Попков А.В. //Гений ортопедии. — 2000. — N 4. — С. 105–111.
9. Филимонова Г.Н., Ерофеев С.А., Шрейнер А.А., Баранова С.В. //Там же: — 1999. — N 3. — С. 14–19.
10. Хилл А. Механика мышечного сокращения. Старые и новые опыты: Пер. с англ. — М., 1972.
11. Целлариус С.Ф., Целлариус Ю.Г. //Бюл. экспер. биол. — 1975. — N 1. — С.71–74.
12. Целлариус С.Ф., Целлариус Ю.Г. Гистопатология очаговых метаболических повреждений волокон соматической мускулатуры. — Новосибирск, 1979.
13. Шейн А.П., Криворучко Г.А. //Метод Илизарова — достижения и перспективы: Тезисы докладов Междунар. конф., посвященной памяти Г.А. Илизарова. — Курган, 1993. — С. 158–159.

14. Шрейнер А.А., Ерофеев С.А., Щудло М.М. и др. //Гений ортопедии. — 1999. — № 2. — С. 13-17.
15. Щуров В.А., Гребенюк Л.А., Мурадисинов С.О. //Бюл. ВСНЦ Сибирского отделения РАМН. — 1994. — № 1-2. — С. 55-57.
16. Щуров В.А., Гребенюк Л.А., Дьячкова Г.В. //Вопросы биомеханики в травматологии и ортопедии: Науч. труды. — Казань, 1989. — С. 55-58.
17. Beier W. Biophysik. — Leipzig, 1962.
18. Fung V.C. Biomechanics. — New York etc., 1981.
19. Khoroskov I.A., Odintsova N.A. //Arch. Gistol. Embriol. — 1988. — Vol. 95, N 12. — P. 41-48.

© Т.С. Винокурова, Ю.Е. Гаркавенко, 2004

## РЕОВАЗОГРАФИЯ В ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ ПРИ УДЛИНЕНИИ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У ДЕТЕЙ

Т.С. Винокурова, Ю.Е. Гаркавенко

Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург

*Методом реовазографии изучено состояние кровообращения в области бедра и голени у 51 пациента в возрасте от 5 до 18 лет с приобретенной патологией проксимального (39 больных) и дистального (12) метаэпифиза бедренной кости до и после восстановления длины нижней конечности путем удлинения бедра. В отдаленные сроки (1-5 лет) отмечена положительная динамика показателей регионарного кровообращения не только бедра, но и голени.*

*Rheovasography was applied for the evaluation of blood circulation in the femur and crus before and after restoration of lower extremity length. There were 51 children, aged 5-18, with acquired pathology of proximal (39 patients) and distal (12 patients) metaepiphysis of femur. Positive dynamics in regional blood circulation was noted both in proximal and distal extremity segments at 1-5 years follow up after lengthening*

Восстановление длины нижней конечности у детей — актуальная проблема современной ортопедии, которая с развитием и совершенствованием метода чрескостного компрессионно-дистракционного остеосинтеза находит успешное практическое решение. При единстве мнений о показаниях к удлинению укороченной конечности сохраняются некоторые разногласия в вопросах выбора удлиняемого сегмента. Причина этого — опасение вызвать нарушение стабильности тазобедренного сустава (в случае его поражения) при удлинении бедра, ухудшение кровообращения проксимального отдела бедренной кости, а также ухудшение периферического кровообращения в дистальных сегментах удлиняемой конечности, что, в свою очередь, может повлечь за собой замедление формирования регенерата. Изучение и сравнительный анализ состояния гемодинамики в укороченной конечности до и после ее удлинения помогают найти ответ на ряд интересующих вопросов.

В литературе имеется ограниченное число публикаций, отражающих состояние периферического кровообращения в нижних конечностях при их удлинении у детей с приобретенной патологией крупных суставов [1-3, 5]. Еще меньше работ, касающихся состояния кровообращения в голени при удлинении бедра, в которых рассматриваются процессы гемодинамики в дистальных сегментах удлиняемой конечности, причем в основном у взрос-

лых пациентов и в ранние сроки после восстановления длины конечности [4]. Желание в какой-то мере восполнить имеющийся пробел побудило нас обратиться к этому вопросу.

Целью нашей работы было изучение периферического кровообращения бедер и голени у детей и подростков с приобретенной патологией тазобедренного и коленного суставов до и после восстановления длины нижней конечности, а также влияния удлинения бедра на состояние кровообращения в голени.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Обследован 51 пациент в возрасте от 5 до 18 лет с укорочением нижней конечности на 4-16 см после перенесенных острого гематогенного остеомиелита (38), травм (6), туберкулезного остита (4), послеоперационного остеомиелита (2) и хондробластомы проксимального метаэпифиза бедренной кости (1). Больные были разделены на две группы: 1-я — пациенты с поражением проксимального (39 человек — 76,5%), 2-я — дистального (12 человек — 23,5%) метаэпифизов бедренной кости. Пятеро больных с поражением и тазобедренного, и коленного суставов отнесены к 1-й группе. Контрольную группу составили 10 здоровых детей соответствующего возраста.

С целью стабилизации тазобедренного сустава 38 (74,5%) больным ранее были произведены от-