

© Т.И. Менщикова, А.М. Аранович, 2015

## ОЦЕНКА РЕЗЕРВНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПЕРЕДНЕЙ ГРУППЫ МЫШЦ ГОЛЕНИ У БОЛЬНЫХ АХОНДРОПАЗИЕЙ В ПРОЦЕССЕ УДЛИНЕНИЯ (УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

Т.И. Менщикова, А.М. Аранович

ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия»  
им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган, РФ

Целью исследования было определить эхопризнаки резервных возможностей передней группы мышц голени у больных ахондроплазией. Обследованы больные ахондроплазией в возрасте от 6 до 18 лет до лечения и в процессе удлинения голени с помощью аппарата Илизарова через 10, 20, 30, 60 и 90 дней от начала дистракции. Средняя величина удлинения голени составила  $9 \pm 2$  см. Ультразвуковые исследования выполнены на аппаратах VOLUSON-730PRO (Австрия), AVISUS Hitachi (Япония). Выявлены эхопризнаки, свидетельствующие о снижении резервных возможностей передней группы мышц голени при удлинении: нарушение характерной мышечной исчерченности, изменение направленности пучков мышечных волокон, истончение межмышечной перегородки, снижение контрактильной реакции мышц на  $90 \pm 5\%$  и повышение акустической плотности на 45% по сравнению с исходным уровнем. При исчерпании резервных возможностей передней группы мышц голени визуализировался эффект «матового стекла». Исключение составили больные ахондроплазией в возрасте 6–10 лет, у которых выраженные деструктивные изменения в передней группе мышц голени в первый месяц дистракции связаны не только с alterацией тканей, но и с недостаточной физиологической зрелостью детского организма.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование, ахондроплазия, дистракция голени, структурная адаптация мышц, акустическая плотность.

### *Evaluation of the Resources tibialis anterior muscle of the shin in Patients with Achondroplasia during Lengthening (Ultrasound Examination)*

T.I. Menshchikova, A.M. Aranovich

Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics,  
Kurgan, Russia

The purpose of the study was the determination of echo signs of the resources of tibialis anterior muscle of the shin in patients (6–18 years old) with achondroplasia. The patients were examined before treatment and in the process of shin lengthening on days 10, 20, 30, 60 and 90 after distraction initiation with Ilizarov apparatus. Mean lengthening made up  $9 \pm 2$  cm. Ultrasound examination was performed on VOLUSON-730PRO (Austria) and AVISUS Hitachi (Japan) systems. Echo signs indicative of the reduction of the resources of tibialis anterior muscle of the shin during lengthening, i.e. violation of typical muscular striation, change in the direction of muscular fibers bands, thinning of intermuscular septum, decrease in contractile muscular response by  $90 \pm 5\%$  and increase in acoustic density by 45% as compared with the initial level, were identified. At the exhaustion of reserve potential of tibialis anterior muscle of the shin the effect of “frosted glass” was visualized, with the exception of patients with achondroplasia aged 6–10 years in whom marked destructive changes in tibialis anterior muscle of the shin during the first months of distraction were associated not only with tissue alteration but with insufficient physiological maturity of the organism.

Key words: ultrasound examination, achondroplasia, shin distraction, structural adaptation of muscles, acoustic density.

Ахондроплазия — системное заболевание скелета, в основе которого лежат генетические изменения, приводящие к нарушениям энхондрального роста длинных и коротких трубчатых костей. Низкий рост и резкая диспропорция между длиной туловища и конечностями являются не только косметическим недостатком, но и основной социальной проблемой больных ахондроплазией. По мне-

нию большинства специалистов — генетиков, эндокринологов, ортопедов, альтернативы оперативному удлинению конечностей у больных ахондроплазией в настоящее время не существует [1].

Проблема увеличения длины сегментов конечностей нашла свое радикальное техническое решение во второй половине прошлого века благодаря открытию Г.А. Илизаровым общепризнанно-

го закона «напряжения растяжения» [2]. Постоянное совершенствование методик чрескостного дистракционного остеосинтеза, использование новых технологий позволяет провести удлинение сегментов конечностей на большие величины [1, 2]. В настоящее время оперативное удлинение конечностей предполагает не только увеличение роста, но и сохранение пропорций тела и функциональной способности локомоторного аппарата. В процессе удлинения внимание ортопедов сосредоточено, как правило, на состоянии репаративного остеогенеза. Однако удлинение сопровождается сложными структурными изменениями целого комплекса окружающих костный регенерат мягких тканей — мышц, фасций, сухожилий, сосудов, нервов, состояние которых и будет определять результат лечения [1, 3, 4]. Наибольшее количество исследований по изучению структурного состояния мягких тканей было проведено в экспериментах на животных в 70–80-е годы прошлого столетия [2, 5–7].

Современные биохимические [8], электрофизиологические [9] исследования внесли существенный вклад в оценку состояния мышц при удлинении конечности. Изучен обмен основных субстратов энергообеспечения мышц удлиняемой и интактной голени, проведен анализ изменений сыровоточных показателей костного метаболизма в динамике удлинения [8], выявлена выраженная гиповаскуляризация и нарушение нейротрофики мионов в ближайшие 30 дней после снятия аппарата с голени [10].

С помощью метода ЭМГ установлено, что наиболее чувствительными к растяжению являются односуставные мышцы с продольноволокнистым типом строения. Показано, что при удлинении голени первыми в деструктивно-репаративную реакцию включаются структуры тыльных и подошвенных сгибателей стопы, что может выражаться, в частности, денервационными изменениями в мышечной ткани [9]. В ряде клинических и экспериментальных исследований показано, что передняя группа мышц голени из-за своих анатомических особенностей подвергается наибольшим структурным изменениям в период дистракции голени, поэтому величина удлинения зачастую зависит не только от активности репаративного остеогенеза, но и от резервных возможностей мышц.

**Табл. 1.** Характеристика обследованных пациентов

| Возрастная группа                     | До лечения    |                    | В процессе лечения |                    |
|---------------------------------------|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|                                       | число больных | число обследований | число больных      | число обследований |
| 6–10 лет                              | 25            | 50                 | 25                 | 200                |
| 10,1–18 лет                           | 47            | 94                 | 47                 | 168                |
| Повторное удлинение голени (9–18 лет) | 22            | 44                 | 22                 | 122                |

Впервые особенности формы и структуры мышц у больных ахондроплазией были изучены с помощью метода рентгенконтрастирования [11]. В настоящее время для проведения комплексной динамической оценки костного регенерата и параоссальных тканей широко применяется метод ультразвуковой диагностики, который не несет лучевой нагрузки на пациента, не требует введения дополнительных контрастных веществ и может быть использован на всех этапах реабилитационного процесса [12].

Цель исследования: определение эхопризнаков резервных возможностей передней группы мышц голени у больных ахондроплазией в различных возрастных группах в процессе дистракции голени.

#### ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

Обследованы больные ахондроплазией в возрасте от 6 до 18 лет до лечения, в процессе удлинения голени с помощью аппарата Илизарова через 10, 20, 30, 60 и 90 дней от начала дистракции. В зависимости от степени репаративного остеогенеза больные были разделены на две группы. Первую группу составили пациенты в возрасте 6–10 лет (высокий уровень репаративного остеогенеза); 2-ю — в возрасте 10,1–18 лет (нормальный уровень остеогенеза; табл. 1).

Средняя величина удлинения голени за один этап лечения равнялась  $9 \pm 2$  см. Ультразвуковые исследования выполнены на аппаратах VOLUSON-730PRO (Австрия), AVISUS Hitachi (Япония) с использованием линейного датчика с частотой 7,5 МГц.

Исследование передней группы мышц голени осуществляли в положении больного лежа на спине в состоянии физического покоя при постоянной стандартной настройке ультразвукового аппарата. В процессе лечения компоновка аппарата Илизарова обеспечивает стандартный доступ к m. tibialis anterior и m. extensor digitorum longus над зоной, соответствующей проведенной остеотомии: по переднелатеральной поверхности голени между проксимальным и средним кольцом и передними опорами аппарата Илизарова.

Датчик устанавливали вдоль и поперек продольной оси сегмента конечности на уровне брюшка исследуемой мышцы. Метод УЗИ позволяет проводить качественную и количественную оценку изучаемой области, по результатам которой судили о резервных возможностях передней группы мышц голени. При определении качественного состояния мышц оценивали четкость контуров, наличие межмышечной перегородки между m. tibialis anterior и m. extensor digitorum longus, мышечную исчерченность и измеряли угол наклона пучков мышечных волокон (в ходе продольного сканирования). Последний определяли как угол между линией, совпадающей с направлением сухожилия, и направлением пучков мышечного волокна. При

оценке угла наклона пучков мышечных волокон строили касательные относительно самого пучка волокна и материнской кости. Количественная оценка включала измерение с помощью подвижных маркеров толщины *m. tibialis anterior* и *m. extensor digitorum longus* в состоянии покоя и при статическом напряжении и определение акустической плотности с использованием стандартных программ компьютера.

В режиме цветного доплеровского картирования (ЦДК) и энергетического доплера оценивали сосуды в зоне удлинения и в окружающих тканях, определяли значения периферических индексов: пульсаторного индекса (PI) и индекса резистивности (RI).

Статистическую обработку результатов проводили с помощью пакета анализа данных Microsoft Excel-2000 с дополнительными программами непараметрической статистики и оценки нормальности распределения [13]. Для оценки достоверности различий сопоставляемых выборок показателей использовали *t*-критерий Стьюдента и непараметрический критерий Вилкоксона. Критический уровень статистической значимости принят равным 0,05. Данные представлены в виде средней арифметической (*M*), ошибки средней (*m*).

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Установлено, что до лечения во всех возрастных группах передняя группа мышц голени имела четкий контур, межмышечная перегородка между *m. tibialis anterior* и *m. extensor digitorum longus* была хорошо выражена. У детей в возрасте 6–10 лет (1-я группа) угол наклона пучков мышечных волокон составлял  $40 \pm 10^\circ$ , пучки не всегда имели выраженную направленность, толщина *m. tibialis anterior* и *m. extensor digitorum longus* равнялась  $0,6 \pm 0,3$  и  $0,7 \pm 0,6$  см, акустическая плотность мышц —  $99 \pm 11$  и  $110 \pm 10$  усл. ед. соответственно (рис. 1, а).

Во второй возрастной группе (10,1–18 лет) пучки мышечных волокон хорошо дифференцировались, имели четкую направленность, угол наклона пучков мышечных волокон составлял  $16 \pm 4,5^\circ$ , тол-

щина *m. tibialis anterior* и *m. extensor digitorum longus* вырастала до  $0,70 \pm 0,09$  и  $0,85 \pm 0,11$  см соответственно, количество соединительной ткани в мышцах увеличивалось, о чем свидетельствовало увеличение акустической плотности до  $122 \pm 9,5$  и  $120 \pm 12,0$  усл. ед. соответственно.

Контрактильная реакция мышц была хорошо выражена в обеих возрастных группах, при статическом напряжении происходило характерное увеличение толщины передней группы мышц голени в 1-й группе на 16% и во второй — на 22% по сравнению с состоянием физиологического покоя.

С помощью электронной микроскопии в экспериментальных исследованиях в процессе дистракции были выявлены признаки деструктивных изменений в структуре мышцы удлиняемого сегмента: перерастяжение мышечных волокон, обрывы аксонов, признаки периаксональной дегенерации [14]. В клинической практике при удлинении голени у больных различного возраста выраженность деструктивного процесса имеет большое значение, так как наряду с активностью репаративного остеогенеза определяет тактику лечения и величину удлинения. Эхопризнаками деструктивных изменений в мышцах являются нарушение характерной мышечной исчерченности и дифференцировки мышечных слоев, снижение или отсутствие контрактильной реакции мышц, изменение акустической плотности мышц.

У больных 1-й группы на раннем сроке дистракции (10–12 дней) при величине удлинения  $1,00 \pm 0,30$  см визуализировалось нарушение направленности пучков мышечных волокон, контрактильная реакция и межмышечная перегородка были сохранены.

При удлинении голени на  $2,5 \pm 0,5$  см пучки мышечных волокон визуализировались в виде отдельных линейных гиперэхогенных фрагментов, межмышечная перегородка была истончена, контрактильная реакция *m. tibialis anterior* и *m. extensor digitorum longus* сохранена, акустическая плотность увеличена на 21 и 14% соответственно по сравнению с исходным уровнем (рис. 1, б; табл. 2).

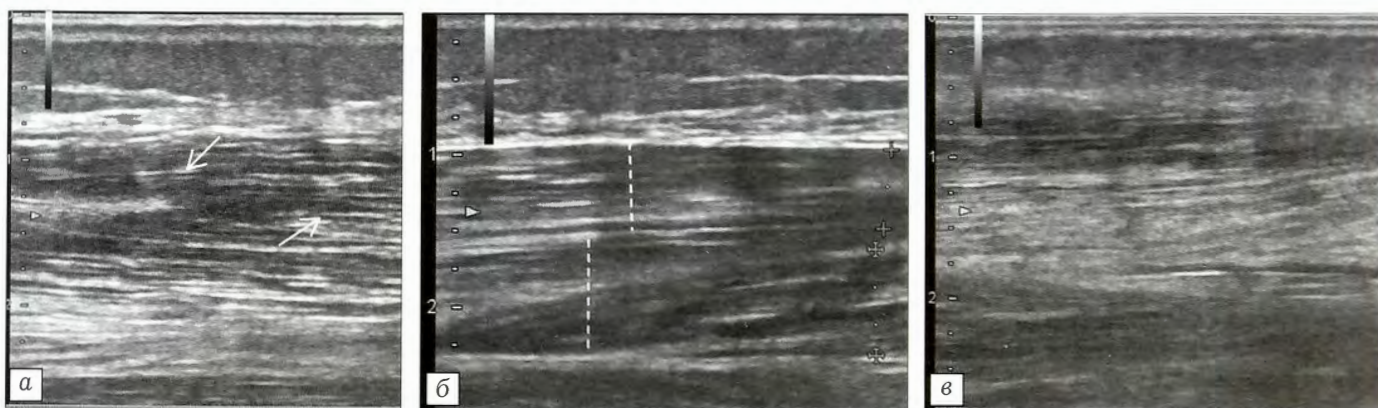


Рис. 1. Сонограммы передней группы мышц правой и левой голени больного Ч. 7 лет.

а — до лечения (стрелками показаны пучки мышечных волокон); б — 20-й день дистракции (пунктирные линии — толщина *m. tibialis anterior* и *m. extensor digitorum longus*); в — 32-й день дистракции, объяснения в тексте.

**Табл. 2.** Показатели акустической плотности (в усл. ед.) передней группы мышц голени в период дистракции в зависимости от величины удлинения

| Величина удлинения голени, см | 1-я группа           |                              | 2-я группа           |                              |
|-------------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|
|                               | m. tibialis anterior | m. extensor digitorum longus | m. tibialis anterior | m. extensor digitorum longus |
| 1,0±0,3                       | 118±12               | 116±5,4                      | 122±4,5              | 126±6,5                      |
| 2,5±0,5                       | 120±8,5*             | 126±8,2*                     | 131±5,6*             | 135±4,2*                     |
| 4,5±0,5                       | 135±6,8*             | 141±9,4*                     | 149±6,3*             | 146±3,6*                     |
| 6,5±0,5                       | 147±7,5*             | 155±11,6*                    | 154±3,8*             | 160±6,4*                     |
| 8,5±0,5                       | 156±10,2*            | 160±7,1*                     | 164±7,1*             | 166±5,3*                     |
| 10 и более                    | —                    | —                            | 169±8,5*             | 170±3,1*                     |

Примечание. Здесь и в табл. 3: \* — достоверность различий по сравнению с исходным уровнем при  $p < 0,05$ .

Удлинение голени на  $4,5 \pm 0,5$  см сопровождалось нарушением характерной мышечной исчерченности, истончением межмышечной перегородки, увеличением акустической плотности m. tibialis anterior и m. extensor digitorum longus на 36 и 28,8% соответственно при сохранении контрактильной реакции (рис. 1, в).

При сканировании мышц голени, удлиненной на  $6,5 \pm 0,5$  см, отмечалось увеличение акустической плотности m. tibialis anterior и m. extensor digitorum longus на 48,5 и 49% по сравнению с исходным уровнем, пучки мышечных волокон не дифференцировались, контрактильная реакция была слабо выражена.

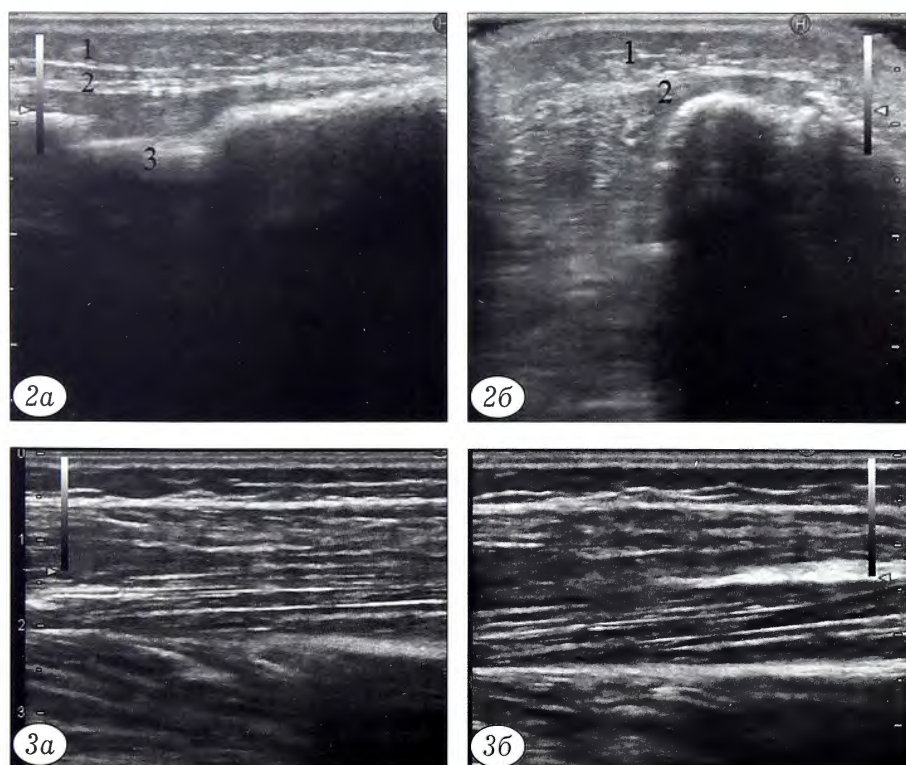
В ходе дальнейшего удлинения на  $8,5 \pm 0,5$  см выявлялись признаки полной дезорганизации мышечной структуры: мышца приобретала гетерогенную структуру, акустическая плотность

m. tibialis anterior и m. extensor digitorum longus была увеличена на 57,6 и 45,5% соответственно (см. табл. 2), контрактильная реакция мышц не определялась. Указанные сонографические критерии мы расцениваем как свидетельство снижения резервных возможностей передней группы мышц голени для проведения дальнейшего удлинения голени (рис. 2).

Ограничениями для продолжения удлинения голени являлся и «бурный» репаративный остеогенез, связанный с ним высокий темп дистракции, а также небольшие исходные анатомические размеры голени в данной возрастной группе.

Вторую группу составили пациенты 10,1–18 лет. В рассматриваемом возрастном периоде имеется возможность увеличить длину голени за один этап лечения на 10 и более сантиметров, в связи с чем вопрос о критической величине удлинения, которая определяется резервными возможностями мышц пациентов, приобретает особую актуальность. Период дистракции во 2-й группе сопровождался более медленным нарастанием выраженности эхопризнаков деструктивных изменений, чем у детей 1-й группы. Наиболее существенные изменения визуализировались при величине удлинения  $6,5 \pm 0,5$  см: пучки мышечных волокон приобретали практические горизонтальную направленность, межмышечная перегородка m. tibialis anterior и m. extensor digitorum longus определялась, контрактильная реакция мышц была сохранена (рис. 3). Акустическая плотность m. tibialis anterior и m. extensor digitorum longus увеличивалась на 26 и 33% соответственно по сравнению с исходным уровнем (см. табл. 2).

При удлинении голени на  $8,5 \pm 0,5$  см пучки мышечных волокон визуализировались в виде линейных фрагментов между гиперэхогенными прослойками соединительной ткани, акустическая плотность мышц была повышена по сравнению с исходным уровнем на 35–38%, контрактильная реакция мышц выражена слабо.



**Рис. 2.** Тот же больной. 64-й день дистракции (величина удлинения 7 см). Представлены продольный (а) и поперечный (б) сканы.

1 — m. tibialis anterior, 2 — m. extensor digitorum longus, 3 — дистракционный регенерат большеберцовой кости.

**Рис. 3.** Сонограмма передней группы мышц голени больной С. 14 лет. Величина удлинения 5 см.

а — в состоянии покоя, б — при статическом напряжении.

В последующем (увеличение на  $10 \pm 0,5$  см) происходило истончение передней группы мышц голени и межмышечной перегородки, увеличение акустической плотности *m. tibialis anterior* и *m. extensor digitorum longus* на 38,5 и 41% соответственно по сравнению с исходным уровнем, контрактильная реакция мышц было затруднена. Мы считаем, что данные эхопризнаки свидетельствовали о значительном снижении резервных возможностей мышц.

Дальнейшее удлинение голени на 11 см и более сопровождалось еще более выраженными деструктивными изменениями: *m. tibialis anterior* и *m. extensor digitorum longus* определялись в виде сплошной гомогенной полосы, визуализировался эффект «матового стекла», акустическая плотность в зоне «матового стекла» была повышена на 45–47% по сравнению с исходным уровнем (рис. 4, см. табл. 2). Визуализация передней группы мышц голени в виде сплошной полосы с «эффектом матового стекла» мы расцениваем как эхопризнак истощения резервных возможностей передней группы мышц голени для проведения дальнейшего удлинения голени.

При повторном удлинении голени резервные возможности мышц во многом определялись величиной удлинения на первом этапе и функциональной реабилитацией пациента. При истощении резервов адаптации, как правило, наступала контрактура нижележащего голеностопного сустава, что обуславливало снижение функциональности локомоторного аппарата после лечения.

Дополнительно в режиме ЦДК оценивали васкуляризацию мышц. На протяжении всего периода дистракции отмечалось выраженное усиление сосудистого рисунка в мышце за счет вазодилатации. Наибольшее значение периферических индексов PI и RI, отражающих тонус сосудов, отмечено к концу периода дистракции. В табл. 3 представлены значения периферических индексов *a. tibialis anterior* (диаметр  $0,35 \pm 0,1$  см) и отходящих от нее веточек (диаметр  $0,22 \pm 0,11$  см) в начале и конце периода дистракции.

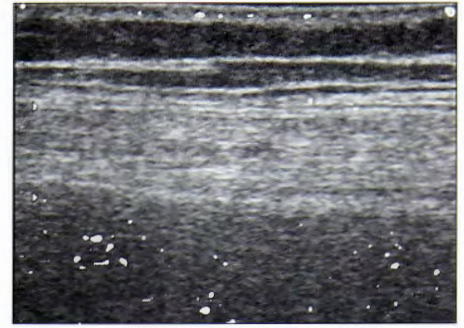
#### ОБСУЖДЕНИЕ

При удлинении конечностей на большие величины платой за предполагаемый результат является снижение сократительной способности мышц и особенно передней группы мышц голени, что, вероятно, связано с особенностями ее анатомического строения и относительно большой величиной удлинения голени [1, 15]. С помощью УЗИ нам удалось в динамике проследить развитие деструктивных изменений в передней группе мышц удлиняемой голени и выявить эхопризнаки, соответствующие частичному или полному истощению мягкотканного резерва в процессе дистракции.

Структурное состояние мышц в процессе дистракции ранее было изучено в экспериментах на

**Рис. 4.** Сонограмма передней группы мышц голени больной К. 15 лет при повторном (спустя 2 года после снятия аппарата) удлинении голени: 60-й день дистракции, величина удлинения 12 см.

Визуализируется эффект «матового стекла».



**Табл. 3.** Показатели периферических индексов передней большеберцовой артерии и отходящих от нее веточек в процессе дистракции ( $M \pm m$ )

| Индекс | Передняя большеберцовая артерия |                   | Веточки передней большеберцовой артерии |                   |
|--------|---------------------------------|-------------------|-----------------------------------------|-------------------|
|        | начало дистракции               | конец дистракции  | начало дистракции                       | конец дистракции  |
| RI     | $0,90 \pm 0,08$                 | $0,93 \pm 0,06^*$ | $0,85 \pm 0,10$                         | $0,94 \pm 0,05^*$ |
| PI     | $8,95 \pm 1,15$                 | $14,90 \pm 1,24$  | $10,40 \pm 2,24$                        | $15,6 \pm 2,15^*$ |

животных [6, 7, 16, 17]. В.М. Яковлев [18] показал, что в конце периода дистракции усиливается склероз перимизия и фасций, нарастает атрофия мышечных волокон. С помощью метода электронной микроскопии было продемонстрировано, что в части мышечных волокон развиваются дистрофические изменения [19]. Возможность проведения удлинения конечностей у больных ахондроплазией во многом обусловлена наличием относительного резерва мягких тканей, что связано с избирательным отставанием роста кости и меньшим отставанием в росте сократительной части мышц [3, 15]. О наличии резервных возможностей передней группы мышц голени у больных ахондроплазией старше 10 лет до лечения свидетельствовали следующие эхопризнаки: непрерывные, четкие пучки мышечных волокон, придающие мышце характерную исчерченность; наличие межмышечной перегородки, позволяющей дифференцировать *m. tibialis anterior* и *m. extensor digitorum longus*; выраженная контрактильная реакция мышц.

Дефинитивная организация мышечных структур достигается после завершения полового созревания. Структурная и функциональная зрелость моторного аппарата нижних конечностей наступает только к подростковому возрасту [20]. Именно поэтому у детей младшего школьного возраста при УЗИ визуализируются тонкие пучки мышечных волокон, не всегда четко направленные, а в период дистракции в 1-й группе обследованных выраженная дезорганизация структуры мышечных волокон отмечалась уже в первый месяц дистракции. Однако, учитывая исходное структурное состояние мышц у детей 1-й группы, вышеперечисленные признаки не могут указывать на истощение резервных возможностей передней группы мышц голени уже в первый месяц дистракции. Увеличение акустической плотности передней группы

мышц голени уже через 15–20 дней на 14–20%, а к концу периода distraction на 45–50% свидетельствовало об увеличении количества соединительной ткани. Дезорганизация мышечной структуры, истончение мышечных слоев, неровность их контуров, нарушение дифференцировки мышц являлись эквивалентом мышечной атрофии.

У пациентов в возрасте 10,1–18 лет при удлинении голени на 10 см отмечались эхопризнаки снижения резервных возможностей мышц: пучки мышечных волокон имели линейную направленность, поэтому характерная мышечная исчерченность не определялась, контрактильная реакция мышц была снижена, межмышечные перегородки четко не дифференцировались, контуры мышц были неровные, акустическая плотность повышена по сравнению с исходным уровнем на 38–41%.

Удлинение голени на 11 и более сантиметров приводило к выраженным деструктивным изменениям в мышце, увеличению акустической плотности на 50%, истончению межмышечных перегородок, визуализации «эффекта матового стекла», который мы расцениваем как эхопризнак полного истощения резервных возможностей мышц.

Клиническим проявлением полного использования резервов адаптации передней группы мышц голени, как правило, является контрактура голеностопного сустава и снижение функциональной активности локомоторного аппарата после лечения.

Выявленные с помощью метода УЗИ структурные изменения в передней группе мышц голени согласуются с данными электрофизиологических исследований [9], в которых показано, что частичная денервация мышц, подвергнутых растяжению, создает условия для более полного проявления ее пластических свойств. В случае продолжительной денервации часть мышечных волокон атрофируется, замещаясь соединительной тканью. Такое структурное изменение в мышце сопровождается снижением силы, выносливости, а также уменьшением амплитуды при активных и пассивных движениях в смежных суставах.

В экспериментальных исследованиях на козах показано, что удлинение голени более чем на 20% приводит к диспропорции между количеством миофибрилл и количеством саркомеров [21]. В опытах на кроликах продемонстрировано, что структурная адаптация мышцы к новой длине покоя проявляется в укорочении саркомеров пропорционально срокам после удлинения [22].

Таким образом, критическая величина удлинения голени у больных ахондроплазией во многом определяется возрастом начала лечения, величиной удлинения. До лечения у детей больных ахондроплазией имеется запас со стороны мягких тканей, обусловленный характерными для детского организма передифференцировочными процессами, которые продолжаются вплоть до окончания пубертатного возраста [20, 21], поэтому регенерация мышц после снятия аппарата протекает наряду

с естественными процессами созревания и роста. С увеличением возраста при нарушенном продольном росте трубчатых костей у больных ахондроплазией отмечается увеличение массивности брюшка мышц конечностей [3, 15], что обеспечивает резервный запас мягких тканей для проведения удлинения.

**Заключение.** Проведение динамического УЗИ на протяжении всего периода distraction голени у больных ахондроплазией позволяет своевременно выявлять эхопризнаки, соответствующие снижению и полному истощению резерва передней группы мышц для проведения удлинения.

#### ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Попков А.В., Шевцов В.И., ред. Ахондроплазия: Руководство для врачей. М.: Медицина; 2001 [Popkov A.V., Shevtsov V.I., ed. Achondroplasia. Manual for physicians. Moscow: Meditsina; 2001 (in Russian)].
2. Илизаров Г.А., Попова Л.А., Шевцов В.И. Метод чрескостного остеосинтеза – новый этап в развитии отечественной травматологии и ортопедии. Ортопедия, травматология и протезирование. 1986; 1: 1–5 [Ilizarov G.A., Popova L.A., Shevtsov V.I. Method of transosseous osteosynthesis – new step in the development of native traumatology and orthopaedics. Ortopediya, travmatologiya i protezirovanie. 1986; 1: 1–5 (in Russian)].
3. Шевцов В.И., Дьячкова Г.В., Гребенюк Л.А., Менишкова Т.И. Способ определения резервных возможностей мышц. Патент РФ № 2258463; 2003 [Shevtsov V.I., D'yachkova G.V., Grebenyuk L.A., Menshikova T.I. Method for determination of reserve muscle resources. Patent RF, N 2258463; 2003 (in Russian)].
4. Щудло М.М., Щудло Н.А., Варсегова Т.Н., Борисова И.В. Реакция нервов на растяжение и их структурная адаптация к удлинению конечности. Гений ортопедии. 2009; 4: 48–55 [Shudlo M.M., Shudlo N.A., Varsegova T.N., Borisova I.V. Reaction of nerves to stretching and their structural adaptation to limb lengthening. Geniy ortopedii. 2009; 4: 48–55 (in Russian)].
5. Коллонтай Ю.Ю., Смирнова Л.И., Стецула В.И., Яковлев В.М. Динамика изменений в мышцах, их внутриорганных кровеносных сосудах и нервах при удлинении голени distractionно-компрессионным аппаратом. В кн.: Тезисы докладов Всесоюзной научно-практической конференции. Курган; 1976: 60–2 [Kollontay Yu.Yu., Smirnova L.I., Stetsula V.I., Yakovlev V.M. Dynamics of changes in muscles, their blood vessels and nerves at shin lengthening with distraction-compression apparatus. In: Proc. All-Russian Scientific. Conf. Kurgan, 1976; 60–2 (in Russian)].
6. Кочуткина Л.Н. Морфометрические данные исследования мышц голени при различных темпах ее удлинения в эксперименте. В кн.: Сборник научных трудов «Теоретические и клинические аспекты distractionного остеосинтеза». Л.; 1982: 33–42 [Kochutina L.N. Morphometric examination of shin muscles at different rates of its lengthening in experiment. In: Collected of scientific works: Theoretic and clinical aspects of distraction osteosynthesis. Leningrad; 1982: 33–42 (in Russian)].
7. Кочуткина Л.Н. Реактивность и регенерация скелетных мышц конечности, удлиняемой методом биллокального distractionного остеосинтеза по Илизарову. В кн.: Сборник научных трудов «Значение открытых Г.А. Илизаровым общепатологических закономерностей в регенерации тканей». Выпуск 13. Курган; 1988: 71–6 [Kochutina L.N. Reactivity and regeneration of skeletal muscles of the extremity elongated using bilocal

- distraction osteosynthesis by Ilizarov. In: Collected scientific works "Role of common biologic regularities in tissue regeneration". Issue 13. Kurgan; 1988: 71-6 (in Russian)].
8. Стогов М.В., Еманов А.А., Тушина Н.В., Смирнов А.В. Субстраты энергетического обеспечения скелетных мышц при оперативном удлинении костей голени. Гений ортопедии. 2012; 1: 124-7 [Stogov M.V., Emanov A.A., Tushina N.V., Smirnov A.V. Substrates of energy supply of skeletal muscles for surgical lengthening of leg bones. Geniy ortopedii. 2012; (1): 124-7 (in Russian)].
9. Шейн А.П., Криворучко Г.А. Произвольное управление напряжением мышц удлинённой и интактной конечностей в различных диапазонах силовых нагрузок. Физиология человека. 2012; 38 (2): 31 [Shein A.P., Krivoruchko G.A. Voluntary control of muscle tension in lengthened and intact limbs in different ranges of force load. Fiziologiya cheloveka. 2012; 38 (2): 31 (in Russian)].
10. Петровская Н.В., Щудло Н.А., Борисова И.В., Степанов М.А. Гистологические изменения структур переднего фасциального пространства голени при ее удлинении на уровне верхней трети. Гений ортопедии. 2012; 2: 135-9 [Petrovskaya N.V., Shchudlo N.A., Borisova I.V., Stepanov M.A. Histological changes in the structures of anterior fascial space of the leg in case of its lengthening at the upper-third level. Geniy ortopedii. 2012; (2): 135-9 (in Russian)].
11. Дьячкова Г.В., Корабельников М.А., Менщикова Т.И., Дьячков К.А. Рентгеносонографические особенности мышц у больных ахондроплазией. Омский научный вестник. 2004; 5 (32): 90-3 [D'yachkova G.V., Korabel'nikov M.A., Menshchikova T.I., D'yachkov K.A. Roentgenographic peculiarities of muscles in patients with achondroplasia. Omskiy nauchnyi vestnik. 2004; 5 (32): 90-3 (in Russian)].
12. Зубарев А.В., Немецова Н.А. Ультразвуковое исследование опорно-двигательного аппарата у взрослых и детей: Пособие для врачей. М.: Видар-М; 2006 [Zubarev A.V., Nemetsova N.A. Ultrasound examination of locomotor system in adults and children. Manual for physicians. Moscow: Vidar-M; 2006 (in Russian)].
13. Гайдышев И.П. Решение научных и инженерных задач средствами Excel VBA и C/C++. СПб: ВХВ-Петербург; 2004 [Gaidyshev I.P. Solution of scientific and engineering tasks with Excel VBA and C/C++. St. Petersburg: VKhV-Peterburg; 2004 (in Russian)].
14. Шевцов В.И., Чикорина Н.К. Изменение линейной длины (шага) саркомера и саркомерогенез в скелетных мышцах экспериментальных собак при удлинении голени по методу Г.А. Илизарова. Морфологические ведомости. 2008; 1 (1-2): 132-4 [Shevtsov V.I., Chikorina N.K. Lineal length (step) of sarcomere and sarcomerogenesis in the skeletal muscle of experimental dogs during Ilizarov tibial lengthening. Morfologicheskie ведомosti. 2008; 1 (1-2): 132-4 (in Russian)].
15. Шевцов В.И., Дьячкова Г.В., Гребенюк Л.А., Менщикова Т.И. Возможности рентгенологической и ультразвукографической оценки состояния мягких тканей при лечении укорочений нижних конечностей по методу Илизарова. Курган: Дамми; 2003 [Shevtsov V.I., D'yachkova G.V., Grebenyuk L.A., Menshchikova T.I. Possibilities of roentgenologic and ultrasonographic evaluation of soft tissue condition at treatment of lower limbs shortening by Ilizarov technique. Kurgan: Dammi; 2003 (in Russian)].
16. Кочутина Л.Н., Кудрявцева И.П. Гистогенетические особенности регенерации скелетной мышцы при distraction-osteosynthesis по Г.А. Илизарову. Гений ортопедии. 1996; 2-3: 135-6 [Kochutina L.N., Kudryavtseva I.P. Histogenetic peculiarities skeletal muscle regeneration at distraction osteosynthesis by G.A. Ilizarov. Geniy ortopedii. 1996; (2-3): 135-36 (in Russian)].
17. Шевцов В.И., Щудло Н.А., Щудло М.М., Филимонова Г.Н. Структурная адаптивность и пластичность скелетных мышц при удлинении конечности. Гений ортопедии. 2009; 40: 39-47 [Shevtsov V.I., Shudlo N.A., Shudlo M.M., Filimonova G.N. Skeletal muscle structural adaptability and plasticity for limb lengthening. Geniy ortopedii. 2009; 40: 39-47 (in Russian)].
18. Яковлев В.М. Динамика изменений мышц, их кровеносных сосудов и нервов при удлинении голени на distraction-компрессионном аппарате: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. Днепропетровск; 1975 [Yakovlev V.M. Dynamics of changes in muscles, their blood vessels and nerves at shin bones lengthening with distraction-compression apparatus. Cand. med. sci. Diss. Dnepropetrovsk: 1975 (in Russian)].
19. Чикорина Н.К. Ультраструктурная организация скелетных мышц голени при экспериментальном применении аппарата Илизарова. Ортопедия, травматология и протезирование. 1994; 4: 80 [Chikorina N.K. Ultrastructural organization of skeletal shin muscles at experimental use of Ilizarov apparatus. Ortopediya, travmatologiya i protezirovaniye. 1994; 4: 80 (in Russian)].
20. Фарбер Д.А., Безруких М.М. ред. Физиология развития ребенка: теоретические и прикладные аспекты. М.: РАО институт возрастной физиологии; 2000 [Farber D.A., Bezrukikh M.M., ed. Physiology of child development: theoretical and applied aspects. Moscow: RAO institute vozrastno y fiziologii; 2000 (in Russian)].
21. Lindsey C.A., Makarov M.R., Shoemaker S., Birch J.G., Buschang P.H., Cherkashin A.M. et al. The effect of the amount of limb lengthening on skeletal muscle. Clin. Orthop. Relat. Res. 2002; (402): 278-87.
22. Maton T., Tamai K., Kurokawa T. Adaptation of skeletal muscle in limb Lengthening: a light diffraction study on the sarcomere length in situ. J. Orthop. Res. 1994; 12 (2): 193-6.

**Сведения об авторах:** Менщикова Т.И. — доктор биол. наук, вед. науч. сотр. лаборатории функциональных исследований научного клинко-экспериментального отдела физиологии; Аранович А.М. — доктор мед. наук, проф., зав. травматолого-ортопедическим отделением №15.

**Для контактов:** Менщикова Татьяна Ивановна. 640014, Курган, ул. М. Ульяновой, д. 6. Тел.: +7 (912) 836-09-77. E-mail: tat-mench@mail.ru