

Нарушение продольного роста конечности и сократительная способность мышц

Снижение сократительной способности мышц у больных после оперативного удлинения отстающей в росте конечности является главным фактором, ограничивающим масштаб ортопедического лечения. **Цель исследования:** изучить зависимость сократительной способности мышц бедра и голени от их продольных размеров у здоровых и больных индивидуумов разного возраста и у больных при различных вариантах нарушения естественного роста одной из нижних конечностей до и после ее оперативного удлинения по Илизарову. **Методы:** с помощью оригинальных динамометрических стенов проведено сравнительное исследование максимального момента силы различных групп мышц бедра и голени. **Результаты:** в исследовании приняли участие 78 больных в возрасте от 4 до 40 лет с отставанием в продольном росте одной из нижних конечностей на величины от 3 до 12 см. Контрольную группу составили 424 здоровых ребенка в возрасте от 7 до 15 лет и 36 обследуемых в возрасте 18–35 лет. Показана зависимость максимального момента силы различных групп мышц бедра и голени от продольных размеров этих сегментов конечности как у здоровых обследуемых разного возраста и пола, так и у больных при нарушении продольного роста конечности до и после ее оперативного удлинения. На каждый сантиметр отставания пораженной конечности в продольных размерах происходило снижение силы ее мышц и мышц интактной конечности (например, задней группы мышц голени на 3,2 и 1,7 Нм, соответственно). **Заключение:** при равной величине укорочения голени сила ее мышц относительно больше снижалась у больных с врожденными заболеваниями и последствиями перенесенного остеомиелита и меньше — при последствиях травм. Обнаружено компенсаторное увеличение силы мышц контрлатерального бедра лишь при существенном снижении сократительной способности мышц больной голени.

Ключевые слова: сила мышц, длина конечностей, нарушение роста.

(Для цитирования: Щуров В.А. Нарушение продольного роста конечности и сократительная способность мышц. *Вестник РАМН*. 2015; 70 (4): 450–455. Doi: 10.15690/vramn.v70.i4.1411)

450

Обоснование

У здоровых детей продольный рост конечностей сопровождается адекватным увеличением объема мышц и их сократительной способности. У высокорослых детей сила мышц конечностей, отнесенная к массе тела, сравнительно больше. Положительная зависимость силы мышц от продольных размеров тела сохраняется у юношей вплоть до достижения длины тела 185 см. Такая взаимосвязь позволяет рассматривать прирост динамометрических показателей мышц, связанный с увеличением продольных размеров тела как положительное явление

[1]. Данное положение подтверждается при анализе спортивных достижений атлетов и является одним из положительных следствий акселерации роста тела [1].

Продольный рост и увеличение силы идут не совсем синхронно. Известно, что рост и развитие — чередующиеся по времени события, что обнаруживается в период пубертатного ускорения роста. Более того, при оперативном удлинении конечности, когда темп distraction в 30 раз выше скорости естественного роста, наблюдается не увеличение, а падение сократительной способности мышц, на последующее восстановление показателей которой требуются месяцы и годы [2].

V.A. Schurov

Russian Ilizarov Scientific Center «Restorative Traumatology and Orthopaedics», Kurgan, Russian Federation

Disorder of the Longitudinal Limb Growth and Muscular Contractility

Background: The reduction of the muscular contractility in the patients after operative lengthening of the limb with delayed growth is the main factor limiting the volume of orthopaedic treatment. **Objective:** Our aim was to study the dependence of the muscular contractility of the femur and tibia on their longitudinal sizes in healthy individuals and patients of various age and in the patients with different variants of natural growth disorders of one of the lower limb before and after its operative lengthening according to Ilizarov. **Methods:** Maximal torque of various groups of the femoral and tibial muscles was evaluated in 78 patients aged from 4 to 40 years with delayed longitudinal growth from 3 to 12 cm of one of the lower limbs using original dynamometers. Control group included 424 healthy children aged from 7 to 15 years and 36 persons aged from 18 to 35 years. **Results:** The dependence of maximal torque of various groups of the femoral and tibial muscles on their longitudinal sizes in healthy individuals and patients of various ages and gender as well as in the patients with growth disorders before and after their operative lengthening was presented. The affected limb muscular strength and the same of the intact one reduced every cm of the longitudinal growth delay (for instance, the posterior tibial muscle for 3.2 and 1.7 Nm correspondingly). **Conclusion:** Compensatory increase of the muscular strength in the contralateral femur was found only in significant reduction of the muscular contractility of the affected tibia. In equal amount of the tibial shortening its muscular strength reduced relatively more in the patients with congenital disease and consequences of the osteomyelitis and less in trauma cases.

Key words: muscular strength, limb length, growth disorder.

(For citation: Schurov V.A. Disorder of the Longitudinal Limb Growth and Muscular Contractility. *Vestnik Rossiiskoi Akademii Meditsinskikh Nauk = Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2015; 70 (4): 450–455. Doi: 10.15690/vramn.v70.i4.1411)

У детей после переломов длинных костей также возможно изменение продольных размеров конечностей. Уменьшение длины конечности на 4 см или увеличение на 1 см практически не оказывало влияния на уровень восстановления максимальной силы мышц в отдаленные сроки после лечения, в т.ч. у взрослых людей [3, 4]. Однако при большей потере длины конечности сила мышц в отдаленные сроки после травмы восстанавливалась не полностью, оставаясь сниженной в среднем на 5,6% на каждый сантиметр потери ее продольных размеров.

Увеличение длины конечности в процессе естественного роста и при оперативном удлинении по Илизарову способствует увеличению длины шага и, следовательно, скорости ходьбы. Однако при этом требуется соответствующее увеличение силы мышц бедра и голени. Важно заранее просчитать, не повлияет ли получаемый эстетический эффект от изменения пропорций тела на функциональную составляющую — скорость локомоций и проходимость за сутки путь [2, 5].

Целью исследования было изучить зависимость сократительной способности мышц конечностей от их продольных размеров и возраста у здоровых детей при различных вариантах нарушения естественного продольного роста.

Методы

Дизайн исследования

Физиологическая работа по сравнительному анализу динамометрических показателей мышц выполнена по типу контролируемого нерандомизированного исследования.

Критерии соответствия

Основным критерием соответствия была методическая однотипность проведения исследования в основной группе и группе сравнения.

Условия проведения

Физиологические исследования проведены в лаборатории коррекции деформаций и удлинения конечностей РНЦ «Восстановительная травматология и ортопедия» (Курган) с использованием одних и тех же динамометрических стенов. Все обследуемые основной и контрольной группы находились в одинаковых стандартных условиях.

Продолжительность исследования

Обследование детей и взрослых в контрольной группе выполнено однократно (поперечное исследование); обследование больных выполнено до лечения и в отдаленные сроки (более 1 года после окончания оперативного уравнивания длины пораженной и интактной конечностей).

Описание медицинского вмешательства

Оперативное удлинение отстающей в росте конечности производили по методу Илизарова [6], как правило, с темпом 1,0 мм/сут (по 0,25 мм 4 раза/день) после остеотомии в зоне дистального метафиза бедренной или проксимального метафиза большеберцовой кости.

Исходы исследования

Основной исход исследования

У больных детей при нарушении продольного роста конечности наблюдается снижение сократительной способности мышц. При этом динамометрические показате-

тели, соотнесенные с массой тела, могут быть ниже, чем относительные показатели силы мышц у детей меньшего возраста, но с такой же длиной конечности, поскольку при врожденных и приобретенных заболеваниях возможна не только задержка развития, но и непосредственное повреждение самих мышц. Важно было дать ответы на следующие вопросы:

- имеется ли пропорциональность между величиной отставания конечности в продольных размерах и степенью снижения сократительной способности мышц;
- прогрессирует ли отставание силы мышц у больных с увеличением их возраста;
- зависит ли степень снижения силы различных групп мышц от этиологии укорочения конечности?

Дополнительные исходы исследования

Для оценки резервов компенсации функциональных нарушений конечности необходимо выяснить, возможна ли компенсация сниженных силовых возможностей одного сегмента конечности за счет увеличения силы мышц других сегментов и контрлатеральной конечности. Кроме того, нужно выяснить, восстанавливается ли (и до какого уровня) сократительная способность различных групп мышц у детей в отдаленные сроки после окончания оперативного удлинения продольных размеров пораженной конечности.

Анализ в подгруппах

Разделение всех обследуемых на основную и контрольную группу, а также выделение в основной группе подгрупп больных с последствиями врожденных заболеваний, гематогенного остеомиелита и травм конечности позволило провести сравнительный анализ сократительной способности мышц-сгибателей и разгибателей бедра и голени у пациентов этих подгрупп.

Методы регистрации исходов

У всех обследуемых определяли продольные размеры и массу тела, а также размеры сегментов нижних конечностей. Максимальный момент силы передней и задней группы мышц бедра и мышц голени выражали в ньютонах (Н), умноженных на длину рычага от оси вращения до места приложения силы (выраженного в метрах, м) и оценивали при помощи разработанных нами динамометрических стенов [7]. Учитывая, что на показатель силы мышц оказывали влияние не только длина, но и масса тела, мы сравнивали не только абсолютные, но и относительные показатели максимальной силы мышц.

Этическая экспертиза

Обследование детей контрольной группы проводилось с письменного согласия городского отдела народного образования, администрации школы № 49 и родителей. Все обследуемые пациенты давали письменное согласие на проведение физиологических исследований, проводимых с согласия Комитета по этике РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова (протокол № 2 (44) от 29.06.15).

Статистический анализ

Принципы расчета размера выборки

В контрольной группе у детей на каждый исследуемый год жизни обследованы подгруппы мальчиков и девочек, состоящие из 15–30 человек. Размеры подгрупп больных с отставанием в росте одной из конечностей определялись числом поступающих на лечение пациентов за последние 20 лет.

Методы статистического анализа

При анализе результатов исследования использованы методы вариационной статистики, заложенные в пакете прикладных программ Excel for Windows (2010). Для оценки степени достоверности различий результатов использовали t-критерий Стьюдента. Применяли методы корреляционного и регрессионного анализа. Данные представлены в виде средней величины (M), ошибки средней (m) и уровня значимости различий (p). Различия считали статистически значимыми при p < 0,05.

Результаты

Участники исследования

Контрольную группу практически здоровых детей составили учащиеся общеобразовательной школы № 49 г. Кургана (210 мальчиков и 214 девочек в возрасте от 7 до 15 лет). Кроме того, 36 обследованных были первого взрослого возраста (студенты 1-го курса Курганского университета и сотрудники РНЦ «ВТО»).

Критерием отбора больных в основную группу (n =78) было сохранение функции коленного и голеностопного сустава. Повторные обследования в отдаленные сроки после окончания лечения проведены у части больных, в основном проживавших в Курганской обл. или поступивших для решения вопроса о целесообразности последующего этапа лечения. Больные основной группы были в возрасте от 4 до 40 (средний возраст 19±1,1) лет, с врожденным (n =52) и приобретенным после остеомиелита (n =12) или травмы (n =14) отставанием одной из нижних конечностей в продольном росте на величины от 3 до 12 см.

Основные результаты исследования

У здоровых девочек и мальчиков контрольной группы в процессе роста от 7 до 15 лет длина голени увеличивалась на 10,3 и 10,1 см, а относительный момент силы (ОМС) мышц подошвенных сгибателей стопы (ПСС) — на 25,5 (p =0,005) и на 39,5% (p =0,00002), соответственно. Следовательно, на каждый сантиметр увеличения длины голени прирост ОМС мышц у девочек составил 2,4, а у мальчиков — 4,9%. Следует отметить, что величина ОМС мышц-ПСС у детей мужского и женского пола линейно возрастала до 11–12 лет, а у девочек после 12 лет имела тенденцию к снижению в связи с опережающим увеличением массы тела (рис. 1).

На показатели сократительной способности мышц, в т.ч. детей, существенное влияние оказывал пол обследуемых. Величину момента силы задней группы мышц голени у здоровых девочек и мальчиков можно определить на основании соответствующих расчетов:

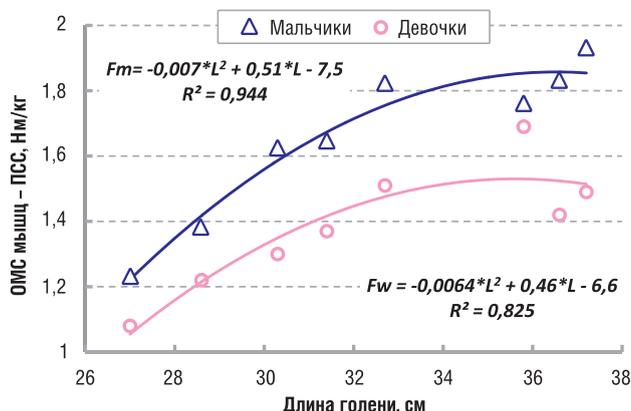


Рис. 1. Зависимость относительного момента силы икроножной мышцы от длины голени у здоровых детей мужского и женского пола.

Примечание. ПСС — мышцы подошвенные сгибатели стопы. Здесь и на рис. 2–4, 7: ОМС — относительный момент силы.

$$F_w = \frac{p^2 \times L \times (0,719 \times T + 10,71) \times 10^{-2}}{4 \times \pi}$$

$$F_m = \frac{p^2 \times L \times (0,916 \times T + 12,93) \times 10^{-2}}{4 \times \pi}$$

где p — максимальный обхват голени (см), L — длина голени (см), T — возраст обследуемого (годы), π — величина равная 3,14.

Следует обратить внимание на то, что у больных с патологией одной из конечностей продольный рост контралатеральной (интактной) нижней конечности и корпуса тела не был нарушен. Дефинитивные продольные размеры тела у пациенток составили 162±2,2, у пациентов — 174±2,6 см, т.е. они не отличались от значений длины тела здоровых сверстников.

С увеличением возраста обследуемых различие в силе мышц бедра интактной и пораженной конечности становилось больше, достигая к 10 годам 30% (p =0,042) и сохраняясь в дальнейшем на этом уровне (рис. 2).

Представляет интерес сравнение влияния укорочения конечности на силу мышц при различной этиологии укорочения конечности (табл. 1). При сопоставимых по величине значениях отставания в длине голени у больных разных групп (при последствиях остеомиелита — 7,1±1,0; при врожденной патологии — 6,9±0,7; при последствиях травм — 5,7±0,7 см) показатели силы мышц бедра, отнесенные к массе тела, в этих группах находились в пределах 1,0–1,2 Нм/кг. Сила задней группы мышц интактной голени у этих же больных составила 1,47±0,15, 1,38±0,06 и 1,69±0,14 Нм/кг, соответственно. Показатели мышц пораженной голени были меньше на

Таблица 1. Момент силы мышц бедра и голени пораженной конечности (M ± m) и процент от уровня интактной конечности у различных групп больных

Группы больных	Разгибатели голени, Нм/кг	Сгибатели голени, Нм/кг	Подошвенные сгибатели стопы, Нм/кг	Тыльные сгибатели стопы, Нм/кг
Врожденные укорочения (n =52)	1,14±0,09	0,97±0,07	0,93±0,08	0,48±0,05
Интактная / Больная	72% (p <0,001)	77% (p =0,003)	68% (p <0,001)	72% (p =0,005)
Последствия остеомиелита (n =12)	0,95±0,16	0,95±0,12	0,82±0,15	0,56±0,09
Интактная / Больная	54% (p =0,005)	70% (p =0,018)	54% (p =0,016)	60% (p =0,013)
Последствия травмы (n =14)	1,22 ±0,19	1,09±0,15	1,37±0,21	0,76±0,08
Интактная / Больная	63% (p =0,064)	83% (p =0,157)	81% (p =0,160)	71% (p =0,021)

Таблица 2. Относительный момент силы (ОМС) мышц голени у больных разного возраста

Возраст, годы	n	ОМС мышц подошвенных сгибателей стопы			ОМС мышц тыльных сгибателей стопы		
		Интakтная	Большая	Большая / Интактная	Интактная	Большая	Большая / Интактная
6	12	1,19±0,12	0,87±0,14	73% (p=0,046)	0,54±0,06	0,41±0,06	76% (p=0,085)
8	18	1,37±0,13	0,80±0,10	58% (p=0,007)	0,52±0,06	0,38±0,07	73% (p=0,060)
10	18	1,58±0,14	1,22±0,18	77% (p=0,052)	0,70±0,09	0,45±0,07	64% (p=0,013)
13	14	1,45±0,12	1,19±0,16	82% (p=0,102)	0,72±0,07	0,55±0,09	76% (p=0,071)
16	13	1,24±0,14	0,87±0,18	70% (p=0,095)	1,07±0,16	0,70±0,15	70% (p=0,108)
20	12	1,60±0,20	1,19±0,20	74% (p=0,077)	0,81±0,08	0,59±0,10	73% (p=0,051)
33	13	1,38±0,18	1,14±0,22	83% (p=0,193)	1,05±0,12	0,75±0,07	71% (p=0,019)

33 (p < 0,001), 27 (p < 0,001) и 12% (p = 0,078). Таким образом, установлено, что различие в показателях силы мышц поврежденной и интактной конечности менее выражено у больных с последствиями травм и более существенно у больных с последствиями перенесенного остеомиелита и при врожденной патологии развития.

По мере увеличения возраста у детей становилась больше масса тела. Сила мышц, отнесенная к массе тела, с увеличением возраста на интактной конечности возрастала (табл. 2). Отставание показателей передней и задней группы мышц голени пораженной конечности у детей до 12 лет в среднем составляло 27%. В более старшем возрасте такой уровень отставания сохранился у передней группы мышц, в то время как у задней он сократился до 15%, что обусловлено низким темпом увеличения относительного момента силы задней группы мышц здоровой конечности. Это обусловлено тем, что при ходьбе мышцы здоровой конечности вынуждены «подстраиваться» под ограниченный режим работы мышц больной.

В то же время темп возрастного увеличения ОМС мышц пораженной конечности у больных женского пола не уступал темпу увеличения показателя силы мышц интактной конечности (рис. 3), хотя постоянная составляющая уравнения линейной регрессии возрастной динамики показателя на отстающей в росте конечности была ниже, чем на интактной.

Такое же отставание показателя ОМС мышц-ПСС большой конечности от интактной и показателя мышц у обследуемых контрольной группы выявлено и при анализе зависимости показателя от длины голени (рис. 4).

Абсолютная сила мышц у больных зависела от степени отставания продольных размеров пораженной конечности и по мере увеличения разницы в длине голени снижалась не только на пораженной, но и на интактной конечности (рис. 5). Это снижение обусловлено уменьшением общей двигательной активности, «подстраиванием» показателей контрлатеральной конечности под силовые показатели больной. Такая «подстройка» необходима для сохранения синхронности и равномерности параметров локомоции [8].

Между показателями силы интактной и пораженной конечностей имеет место линейная взаимосвязь. У девочек и мальчиков угловые коэффициенты уравнений линейной регрессии отличались несущественно (-0,78 и -0,82), постоянная составляющая равна 0,124 и 0,03 Нм/кг, а коэффициент корреляции — -0,878 и -0,952, соответственно.

Отставание одной из конечностей в росте повлияло на функциональное состояние мышцы сегментов конечности, смежных с пораженными. По мере увеличения де-

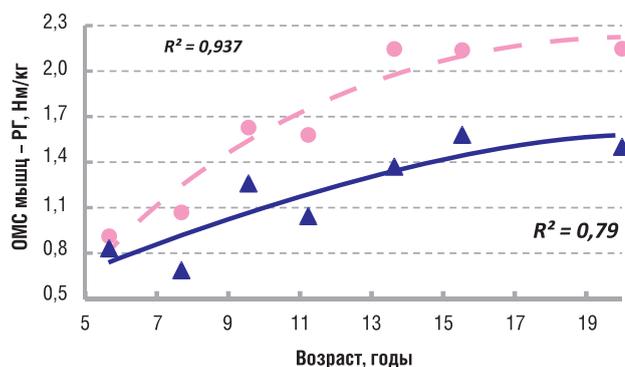


Рис. 2. Возрастная динамика относительного момента силы мышц разгибателей голени интактной и пораженной конечности.

Примечание. РГ — разгибатели голени.

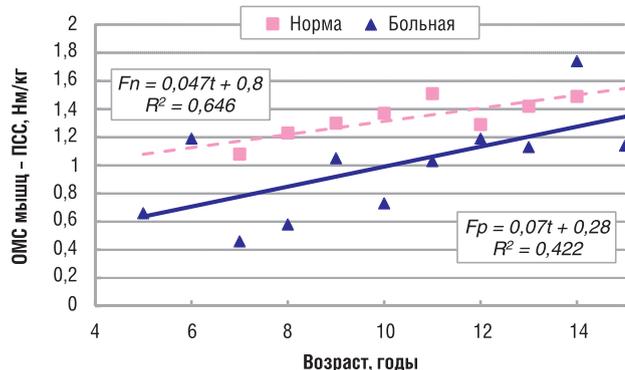


Рис. 3. Возрастная динамика относительного момента силы мышц-подошвенных сгибателей стопы у здоровых обследуемых женского пола и у больных на пораженной конечности.

Примечание. ПСС — мышцы подошвенные сгибатели стопы.

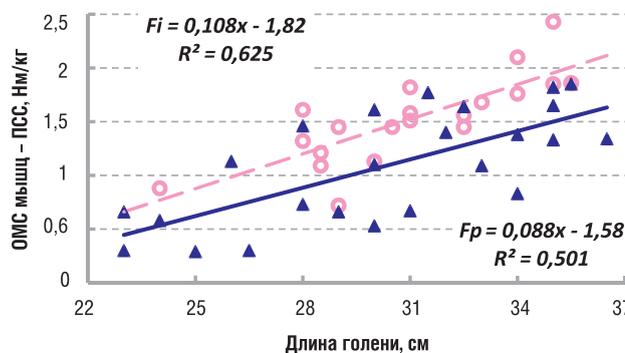


Рис. 4. Зависимость относительного момента силы мышц подошвенных разгибателей стопы интактной и пораженной конечности у больных мужского пола.

Примечание. ПСС — мышцы подошвенные сгибатели стопы.

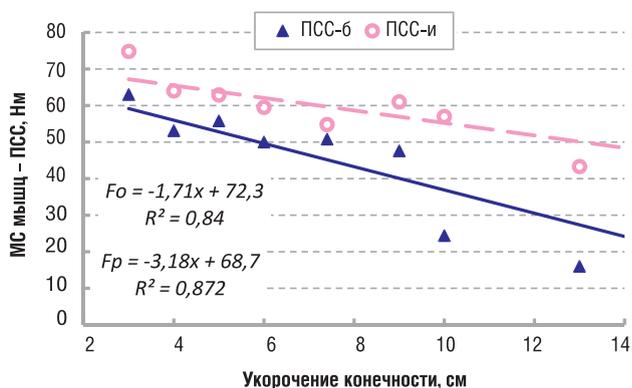


Рис. 5. Зависимость силы мышц голени интактной (и) и пораженной (б) конечности от степени отставания больной конечности в росте.

Примечание. МС — мышечная сила, ПСС — мышцы подошвенные сгибатели стопы.

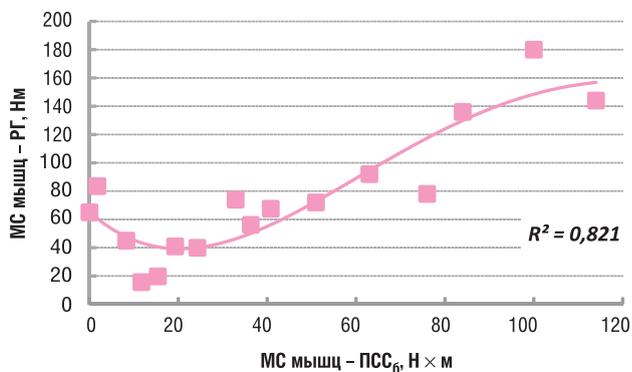


Рис. 6. Зависимость силы мышц интактного бедра от степени снижения силы мышц пораженной голени (б).

Примечание. МС — мышечная сила, РГ — разгибатели голени.

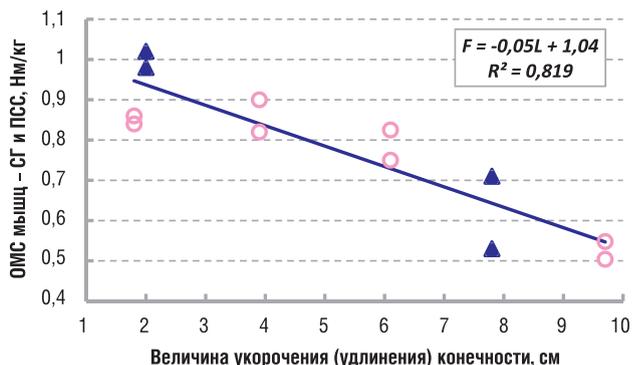


Рис. 7. Влияние величины укорочения (удлинения; треугольники) конечности на показатель относительного момента силы мышц бедра и голени.

Примечание. СГ — сгибатели голени, ПСС — мышцы подошвенные сгибатели стопы.

фицита длины конечностей снижалась сила мышц бедра и тыльных сгибателей стопы (см. рис. 5).

Чем меньше была сила мышц пораженной голени, тем, соответственно, ниже оказывалась у больных сократительная способность мышц интактной конечности (рис. 6). При этом о компенсаторном повышении силы мышц бедра контрлатеральной конечности можно говорить лишь при очень низких значениях силы мышц больной голени (менее 20 Нм).

Представляет практический интерес тот факт, что величины ОМС мышц оперированной конечности, существенно отстававшие от показателей интактной сразу после окончания лечения, на протяжении последующих

5 лет функциональной реабилитации достигали исходного уровня. Несмотря на возрастную прибавку массы тела, это отставание от показателей интактной конечности сохранялось на уровне различий в величинах ОМС, которое имело место до лечения (рис. 7).

Обсуждение

В настоящее время в связи с сохранением относительного увеличения числа больных с патологией опорно-двигательной системы [9] и повышением эстетических требований соотечественников к своему внешнему виду в поле зрения ортопеда попадает все больше больных с различной степенью отставания в продольных размерах как одной, так и обеих конечностей. При этом при планировании операции ортопед традиционно ориентировался на степень дефицита длины одной из конечностей или на желание пациента увеличить продольные размеры своего тела за счет оперативного лечения обеих конечностей. Функциональные исходы такого удлинения могли оказаться существенно хуже ожидаемых.

Для нас представлялось важным показать влияние увеличения продольных размеров конечности на сократительную способность мышц как в условиях естественного роста тела, так и после оперативного удлинения конечности. Непременным условием прогнозирования эффективности лечения больных в любом случае было точное определение показателя максимальной силы основных групп мышц обеих конечностей, соотнесение показателей с массой тела и сопоставление со значениями возрастной нормы у женщин и у мужчин. Если у здоровых людей продольный рост и развитие функции осуществляются практически синхронно, то быстрое увеличение длины конечности при distrакции приводит к падению функциональных способностей мышц с последующим длительным периодом восстановления, растягивающимся на несколько лет, в зависимости от величины удлинения и возраста пациента.

Нами установлено, что на пораженной конечности так же, как и на интактной, с увеличением ее длины в период естественного роста у детей сила мышц становится больше. Обнаружено, что сила мышц голени при последствиях перенесенного остеомиелита снижается больше, а при последствиях травм — меньше по сравнению с соответствующими показателями у больных с врожденными заболеваниями. Однако при этом у больных на пораженной конечности показатель динамометрии ниже не только по сравнению с показателями здоровых сверстников, но и по сравнению с показателями более молодых обследуемых контрольной группы, но с такой же длиной конечности.

Компенсаторного увеличения силы мышц интактной голени не наступает. Напротив, у больных на интактной конечности сила мышц также снижается по сравнению со здоровыми сверстниками. Лишь при существенном снижении сократительной способности мышц больной голени возможно компенсаторное увеличение сократительной способности силы мышц бедра интактной конечности.

Нерешенной проблемой остается неосуществленное желание ортопедов в последующие годы после оперативного удлинения конечности получить такой же эффект прироста силы, который наблюдается в условиях ее естественного роста. Описана возможность прироста под влиянием distrакции числа саркомеров и гипертрофии мышц у животных в экспериментальных условиях [10–12]. У детей также наблюдается прирост абсолютных

значений силы мышц оперированной конечности вследствие продолжающегося возрастного развития. Эффект возможен и при специальной тренировке, но при этом показатели больной конечности не достигают уровня таковых у здоровых сверстников [13].

Заключение

У больных детей по мере увеличения возраста до 12 лет отставание сократительной способности мышц пораженной конечности увеличивается. В дальнейшем разница может стать меньше за счет снижения темпа роста силы мышц интактной конечности.

Отставание одной из нижних конечностей в продольных размерах у детей приводит к пропорциональному снижению максимальной силы задней группы мышц голени не только на пораженной конечности (на 3,2 Нм на каждый 1 см укорочения), но и на интактной (на 1,7 Нм). Лишь при существенном снижении сократительной способности мышц больной голени, когда она становится менее 20% от уровня интактной, возможно

компенсаторное увеличение силы мышц контрлатерального бедра.

Максимальная сила задней группы мышц голени у больных с последствиями перенесенной травмы снижена относительно меньше, чем у больных с врожденным укорочением конечности и у больных с последствиями перенесенного остеомиелита.

Конфликт интересов

Автор подтвердил отсутствие финансовой поддержки исследования / конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Выражение признательности

Автор выражает искреннюю благодарность д.м.н., проф., чл.-корр. РАН В.И. Шевцову, д.м.н., проф. А.В. Попкову, д.м.н., проф. Г.С. Джанбахишеву, д.м.н. К.И. Новикову, к.м.н. С.О. Мурадисинову за помощь в организации обследования больных с отставанием конечностей в росте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Туманян Г.С., Маркиросов Э.Г. Телосложение и спорт. М.: *Фитес*. 1976. 239 с.
2. Шевцов В.И., Щуров В.А., Менщикова Т.И. Теоретические предпосылки и практические последствия увеличения длины нижних конечностей у больных ахондроплазией. *Российский журнал биомеханики*. 2000; 3: 74–79.
3. Schurov V.A., Khubaev N.D., Mitina Yu.L., Skripnikov A.A. Recovery of contractility of the muscles after closed fractures of the ankle. *Human Physiology*. 2015; 41(1): 83–86.
4. Bhavne A., Paley D., Herzenberg J.E. Improvement in gait parameters after lengthening for the treatment of limb length discrepancy. *J. Bone Joint Surg. Am.* 1999; 81: 529–534.
5. De Deyne P.G., Hayatsu K., Meyer R., Paley D., Herzenberg J.E. Muscle regeneration and fiber type transformation during distraction osteogenesis. *J. Orthop. Res.* 1999; 17: 560–570.
6. Попков А.В. Оперативное удлинение конечностей методом чрескостного остеосинтеза: современное состояние и перспективы. *Травматология и ортопедия России*. 1994; 2: 135–142.
7. Schurov V.A. Dynamics of the biomechanical properties of the skin, the walls of the arteries and skeletal muscle by increasing the longitudinal dimensions of the tibia. *Russia Journal of Biomechanics*. 2015; 19 (2): 410.
8. Скворцов Д.В. Клинический анализ движений, анализ походки. М.: *НПЦ Стимул*. 1996. 344 с.
9. Самков А.С. Компрессионно-дистракционный метод в лечении детей с системными заболеваниями. Автореф. дис. ... докт. мед. наук. М. 2001. 44 с.
10. Takahashi M., Yasui N., Enishi T., Sato N., Mizobuchi T., Homma Y., Sairyo K. Diverse muscle architecture adaptations in a rabbit tibial lengthening model. *Muscles Ligaments Tendons J.* 2015; 4 (4): 433–437.
11. Boakes J.L., Foran J., Ward S.R., Lieber R.L. Muscle adaptation by serial sarcomere addition 1 year after femoral lengthening. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2007; 456: 250–253.
12. Шевцов В.И., Щудло Н.А., Щудло М.М., Филимонова Г.Н. Структурная адаптивность и пластичность скелетных мышц при удлинении конечности. *Гений ортопедии*. 2009; 4: 39–47.
13. Менщикова Т.И. Структурно-функциональные аспекты в обосновании оперативного удлинения нижних конечностей. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Тюмень. 2007. 48 с.

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Щуров Владимир Алексеевич, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории коррекции деформаций и удлинения конечностей РНЦ «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова

Адрес: 640001, Курган, ул. М. Ульяновой, д. 6, **тел.:** +7 (3522) 45-42-86, **e-mail:** shchurovland@mail.ru