

АСИММЕТРИЯ НЕКОТОРЫХ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ И БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОИЗВОЛЬНОЙ И ВЫЗВАННОЙ АКТИВНОСТИ МЫШЦ ВЕРХНИХ И НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У ЗДОРОВЫХ СУБЪЕКТОВ

А.П. Шеин, Г.А. Криворучко*,
ГУ РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова,
Курганский филиал ЮУНЦ РАМН*, г. Курган

Представлены данные полипараметрического тестирования функциональных характеристик мышц у здоровых субъектов, которые подтверждают гипотезу о генетически предопределенном отсутствии билатеральных различий в структурно-функциональной организации одноименных модулей сенсомоторного аппарата верхних и нижних конечностей.

В большинстве работ, посвященных анализу проблемы моторных асимметрий, представлены данные тестирования верхних конечностей [1, 3, 5–10]. По мнению Е.П. Ильина, врожденной асимметрии ног в отношении силы мышц нет, она возникает в связи со спортивной специализацией [3]. Аналогичной точки зрения придерживается и Г.И. Черняев, который, в частности, приводит данные, свидетельствующие о сравнительной независимости силы передней группы мышц голени от вида спортивной специализации [11]. Заключение об отсутствии асимметрий по силовым и скоростно-силовым показателям нижних конечностей вытекает также из работы Т.П. Юшкевича [14].

Цель работы

Цель работы состояла в проверке гипотезы о генетически предопределенном отсутствии билатеральных различий в структурно-функциональной организации одноименных модулей сенсомоторного аппарата верхних и нижних конечностей.

В задачи исследования входило получение количественных оценок асимметрий некоторых функциональных показателей мышц голени у здоровых испытуемых. Кроме того, предстояло выяснить взаимосвязь между силовыми и скоростно-силовыми показателями мышечного сокращения и проследить влияние утомления (в начальной стадии его развития) на эти показатели.

Материал и методы

Обследовано три группы испытуемых: 15 юношей (1 группа) и 15 девушек (2 группа) 16–17 лет, занимающихся спортом в пределах школьной программы и 47 спортсменов-легкоатлетов (разрядников и мастеров спорта) 18–27 лет (3 группа).

У всех испытуемых определяли максимальный момент силы тыльных и подошвенных сгибателей стопы; у 29 легкоатлетов – статические активационные индексы (САИ) левой и правой *m. tibialis ant.* и *m. gastrocnemius* (с. l.) – соотношение

рассчитываемых с помощью АВМ МП-ЮМ интеграла суммарной ЭМГ к импульсу момента силы при поддержании под визуальным контролем усилия передней и задней групп мышц голени, составляющее 10 % от максимального [12, 13]. У 20 спортсменов производилось тестирование скоростно-силовых возможностей симметричных мышечных групп голени (тыльных сгибателей стопы). Тест состоял из 5 предельных по амплитуде и скорости развития усилия и расслабления силовых рывков длительностью порядка 1–2 секунды (с кратковременной стабилизацией усилия на максимуме), интервал между которыми составлял 15 с. Из кривой изменения усилия выделялись ее первая производная, которая регистрировалась вместе с тензограммой и ЭМГ *m. tibialis ant.* и *m. gastrocnemius* (с. l.).

Дополнительно методами стимуляционной и глобальной электромиографии обследованы 32 испытуемых мужского пола в возрасте от 17 до 24 лет (студенты факультета физвоспитания Курганского государственного университета). Все испытуемые были правшами. Производилась регистрация и анализ следующих параметров. М-ответы: объекты тестирования – *mm. Thenar*, *mm. Hypothenar*, *m. deltoideus*, *m. biceps brachii*, *m. triceps brachii*, *m. flexor carpi radialis*, *mm. thenar*, *m. flexor carpi ulnaris*, *mm. hypothenar*, *m. extensor digitorum*, *m. tibialis anterior*, *m. estensor digitorum brevis*, *m. gastrocnemius* (cap.lat.), *m. soleus*, *m. flexor digitorum brevis*, *m. rectus femoris*, интенсивность стимула – супрамаксимальная, длительность – 1 мс, способ отведения – униполярный, анализируемый показатель – амплитуда «от пика до пика». Максимальные Н-рефлексы: объекты тестирования – *m. gastrocnemius* с. l. и *t. soleus* (способ отведения и анализируемые признаки – те же, что и для М-ответа). Транскраниально вызванные потенциалы (ТКВП): объекты тестирования – *mm. thenar*, *mm. hypothenar* и *m. tibialis ant.*; анализируемый показатель – амплитуда «от пика до пика». Глобальная ЭМГ: функциональная проба – «максимальное произвольное напряжение»;

объекты тестирования – m. deltoideus, т. biceps brachii, m. triceps brachii, m. flexor carpi radialis, mm. thenar, m. flexor carpi ulnaris, mm. hypothenar, m. extensor digitorum, m. tibialis anterior, m. gastrocnemius (cap. lat.), m. rectus femoris, m. biceps femoris; тип отведения – биполярный, диаметр электродов – 8 мм, межэлектродное расстояние 10 мм; анализируемые параметры произвольной активности: рассчитываемая визуально частота следования колебаний и средняя амплитуда (удвоенное значение MVR – Mean Rectified Voltage), вычисляемая по программе MVA-TEST из фиксированных в памяти ЭВМ фрагментов экранных копий ЭМГ длительностью 0,2 с, зарегистрированных на пике развития максимального произвольного усилия. Учитывалось наибольшее значение MRV из 2–3 попыток. Во всех случаях тестировали как левую, так и правую конечности. Аппаратурное обеспечение: 4-канальная цифровая система ЭМГ и ВП «Viking-IV» (фирма «Nicolet», США), совмещенная с магнитоимпульсным стимулятором «Magstim Quadropuls 500» (фирма «Magstim», Великобритания). С целью проверки гипотезы о влиянии дисциркуляторной функторной функциональной асинапсии части мышечных волокон на характеристики М-ответа m. rectus femoris использована 30-минутная велоэргометрическая проба мощностью 60 % МПК.

Результаты и обсуждение

Данные динамометрии и показатели, характеризующие максимальные моменты скоростно-силовых возможностей передней группы мышц голени (пиковые значения скорости развития усилия и расслабления), статистически обработаны и представлены в табл. 1.

Обнаружено статистически значимое ($P > 0,05$) отсутствие различий по силе мышц не только между левой и правой, но также между толчковой и маховой конечностями по всем трем группам испытуемых. Не выявлено достоверных асимметрий и по скорости развития усилия и расслабления, что видно на конкретном примере обследования одного из испытуемых (рис. 1).

Усреднение данных скоростно-силового теста по порядковым номерам попыток (табл. 2) показало, что амплитуда силового рывка к пятой попытке снижается на 3,2 % ($P > 0,05$) относительно первой, скорость нарастания усилия увеличивается на 6,5 % ($P > 0,05$), а скорость расслабления снижается на 17,1 % ($P > 0,05$). Несмотря на отсутствие статистически значимого снижения пиковой скорости расслабления в пятой попытке относительно первой, темп изменения данного показателя позволяет считать его более чувствительным индикатором начальной стадии развития утомления, чем скорость нарастания усилия или его амплитудное значение.

Таблица 1

Контрактильные характеристики ($M \pm m$) основных мышечных групп голени у здоровых испытуемых трех групп

Показатели	ГРУППА	Левая	Правая	Толчковая	Маховая
Момент силы передней группы мышц голени, Нм	1	53,8 ± 2,3	56,2 ± 1,7	55,3 ± 1,9	54,9 ± 2,1
	2	34,2 ± 1,5	34,3 ± 1,8	34,2 ± 1,5	34,3 ± 1,8
	3	64,1 ± 1,6	63,9 ± 1,5	63,8 ± 3,0	61,2 ± 3,3
Момент силы задней группы мышц голени, Нм	1	198,1 ± 6,9	196,0 ± 7,2	197,6 ± 6,8	197,1 ± 7,0
	2	109,7 ± 5,0	108,3 ± 4,3	109,6 ± 5,1	108,2 ± 4,5
	3	181,9 ± 7,9	182,9 ± 6,9	184,5 ± 6,9	179,6 ± 7,9
Силовой индекс мышц-антагонистов	1	0,27 ± 0,02	0,29 ± 0,01	0,28 ± 0,02	0,28 ± 0,01
	2	0,31 ± 0,02	0,32 ± 0,02	0,31 ± 0,02	0,32 ± 0,02
	3	0,35 ± 0,02	0,35 ± 0,02	0,35 ± 0,02	0,34 ± 0,01
Максимальная скорость нарастания усилия, Нм/с	3	297,3 ± 11,0	305,3 ± 10,9	293,7 ± 9,8	308,8 ± 11,9
Максимальная скорость расслабления, Нм/с	3	305,7 ± 21,2	336,7 ± 32,2	322,3 ± 23,6	319,6 ± 30,9

Для количественной оценки различий силовых характеристик мышечных групп голени у здоровых испытуемых были рассчитаны по несколько видоизмененной формуле коэффициенты асимметрии по силе

$$K_{a(F)} = 2(F_n - F_n) / (F_n + F_n), \quad (1)$$

где P_n и P_n – моменты силы соответствующих мышечных групп правой и левой конечностей.

Полученные таким способом $K_{a(F)}$ по объединенной выборке испытуемых ($n = 77$) составили $0,013 \pm 0,016$ (тыльные сгибатели стопы) и $0,005 \pm 0,023$ (подошвенные сгибатели стопы).

Корреляционный анализ (использован коэффициент линейной корреляции Пирсона) динамометрических данных выявил наличие тесной взаимосвязи между моментами силы передней и задней мышечных групп голени ($r = 0,945$; $P < 0,001$). При этом соотношение между силой мышц разгибателей

Интегративная физиология, восстановительная и адаптивная физическая культура

и сгибателей стопы, получившее название «силовой индекс антагонистов», оказалось примерно одинаковым во всех группах испытуемых (0,27–0,35), несмотря на существенные межгрупповые различия по абсолютным величинам моментов силы. Отмечено также отсутствие статистически достоверной

асимметрии по силовому индексу антагонистов между левой и правой, а также толчковой и маховой конечностями. Интересен тот факт, что конечность с менее развитой в силовом отношении задней группой мышц голени в 30 случаях из 77 (39,0 %) использовалась испытуемыми как толчковая.

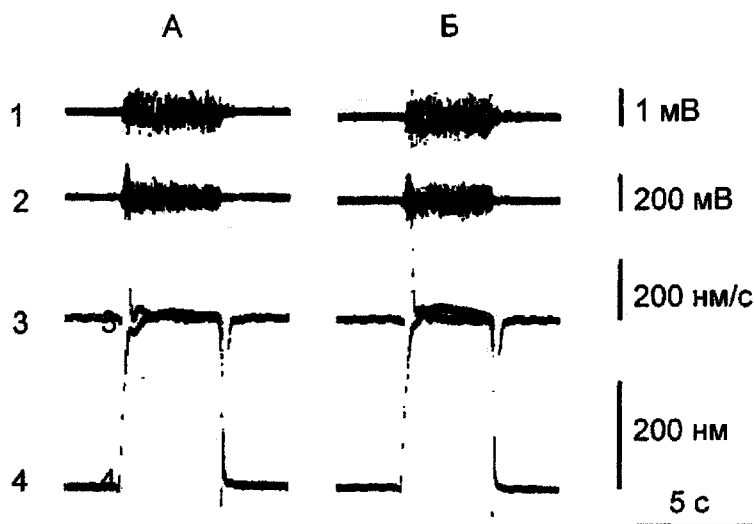


Рис. 1. Записи предельных по амплитуде и скорости развития усилия силовых рывков, осуществляемых переднелатеральной группой мышц левой (А) и правой (Б) голени в условиях сокращения, близких к изометрическим. Испытуемый К, 22 года. А – левая голень; Б – правая голень; 1 – ЭМГ ПБМ; 2 – ЭМГ ЛИМ; 3 – первая производная изменения усилия; 4 – тензограмма

Таблица 2

Изменение контрактильных характеристик ($M \pm m$) передней группы мышц голени у здоровых испытуемых в процессе выполнения серии из пяти максимальных по силе и скорости развития усилия скоростно-силовых проб

Показатели	Порядковый номер пробы				
	1	2	3	4	5
Максимальный момент силы, Нм	$63,7 \pm 1,3$	$62,3 \pm 1,3$	$61,9 \pm 1,2$	$61,8 \pm 1,2$	$61,6 \pm 1,4$
Пиковая скорость развития усилия, Нм/с	$288,1 \pm 10,7$	$294,3 \pm 10,3$	$296,4 \pm 9,2$	$304,2 \pm 8,8$	$306,8 \pm 8,6$
Пиковая скорость расслабления, Нм/с	$348,6 \pm 24,1$	$319,3 \pm 23,8$	$312,8 \pm 22,6$	$293,8 \pm 20,3$	$289,0 \pm 20,3$

С помощью непараметрического критерия связи Кульбака установлена достоверная взаимосвязь между силовым индексом антагонистов и уровнем спортивной квалификации испытуемых третьей группы ($2J = 22,4$; $P < 0,001$). С увеличением спортивной квалификации наблюдается отчетливое снижение указанного показателя (рис. 2), что может объясняться относительной гипертрофией трехглавой мышцы голени под влиянием интенсивных физических нагрузок.

На примере разгибателей стопы удалось установить, что расширение силового диапазона мышц в определенной степени увеличивает пиковую скорость развития усилия – коэффициент линейной корреляции между амплитудными значе-

ниями тензограммы и ее первой производной, рассчитанный по совокупной выборке данных тестирования левой и правой конечностей ($n = 40$), составляет 0,476 ($P < 0,01$). В то же время, скорость расслабления не зависит от достигаемого при выполнении силового рывка максимального значения момента силы.

Отсутствие различий между конечностями по силовым и скоростно-силовым характеристикам основных мышечных групп голени, по-видимому, обусловлено как отсутствием асимметрий в характеристиках управляющего сигнала (разряда мотонейронного пула), так и симметричностью функциональных возможностей периферических исполнительных приборов. Последнее подтверждается

расчетами статических активационных индексов с использованием в качестве т. н. «мышечных эквивалентов» *m. tibialis ant.* и *t. gastrocnemius* (с. 1.). Показано, что слева САИ *m. tibialis ant.* составляет $0,435 \pm$

$\pm 0,019$ усл. ед., справа $-0,422 \pm 0,017$ усл. ед. ($P > 0,05$). САИ *m. gastrocnemius* (с. 1.) также не различается между левой и правой конечностями (соответственно $0,299 \pm 0,023$ усл. ед. и $0,301 \pm 0,022$ усл. ед.; $P > 0,05$).

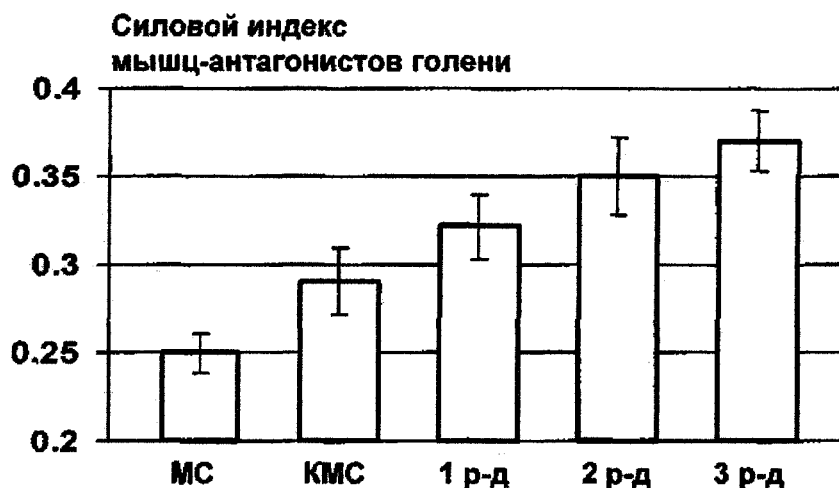


Рис. 2. Зависимость силового индекса мышц-антагонистов голени ($M \pm m$) от квалификации спортсменов-легкоатлетов. МС – мастера спорта; КМС – кандидаты в мастера спорта; 1–3 разряд – спортсмены-разрядники

При этом, коэффициенты асимметрии по ЭМГ, рассчитанные аналогичным образом, что и по силе, составили для передней группы мышц голени – $0,011 \pm 0,017$, а для задней – $0,007 \pm 0,022$. В условиях стабильной позы и неизменности суставного угла равенство соотношений интегралов интерференционной ЭМГ к импульсу момента силы фактически означает, что одинаковый внешний силовой эффект симметричных мышечных групп достигается рекрутированием примерно равных по численному и морфофункциональному составу двигательных единиц, а также по интенсивности эфферентных посылок к мышцам соответствующих фракций корковых и спинальных мотонейронных пулов.

Симметричность и пропорциональность развития силовых возможностей тыльных и подошвенных сгибателей стопы несомненно генетически детерминирована и обусловлена характером рутинных функциональных нагрузок (стояние, ходьба, бег). Следует полагать, что на формирование силовых возможностей задней группы мышц голени определяющее влияние оказывают гравитационные и инерционные нагрузки, о чем свидетельствует наличие статистически значимой взаимосвязи между силой подошвенных сгибателей стопы и весом тела ($r = 0,622$; $P < 0,001$).

В свою очередь, сила тыльных сгибателей стопы, по-видимому, детерминирована необходимостью создания противодействующих моментов при активной фиксации голеностопного сустава, т. е. при синхронном напряжении мышц-антагонистов. Такого рода сопряженная активация наблюдается, в частности, на записях ЭМГ, полученных

при выполнении спортсменами серий скоростно-силовых рывков передней группой мышц голени в условиях сокращения, близких к изометрическим (рис. 1). Предполагается, что в данных экспериментальных условиях сопряженная активация антагониста оказывает биомеханически и нейронально (по механизму реципрокных взаимоотношений) тормозящее действие на активность агониста, демпфируя пиковое развитие усилия.

Сопряженная активность мышц-антагонистов, увеличивая постоянную времени импульсных (фазных) мышечных сокращений, по-видимому, оказывает лимитирующее влияние на показатели выполнения некоторых спортивных движений, требующих предельной мобилизации скоростно-силовых ресурсов мышечного аппарата нижних и верхних конечностей. Косвенным подтверждение высказанного положения может служить тот факт, что при относительном преобладании максимального момента силы задней группы мышц голени над передней (т. е. при уменьшении силового индекса антагонистов) у спортсменов-легкоатлетов наблюдается сокращение времени бега на 100 м ($r = 0,556$; $P < 0,001$). Подобный эффект может быть объяснен демпфирующего влияния передней группы мышц голени на импульсную контрактильную активность задней.

Сопряженная активация мышц-антагонистов голени человека – достаточно типичный феномен, встречающийся не только в экспериментальных условиях, но и при выполнении рутинных моторных задач (ходьба, бег, стояние). Существует мнение, что такой режим работы мышц физиологически целесообразен, поскольку направлен на

Интегративная физиология, восстановительная и адаптивная физическая культура

стабилизацию суставных сочленений в пиковые фазы функциональных нагрузок [2], а также на обеспечение устойчивости при поддержании вертикального равновесия, что отчетливо проявляется в возникновении т. н. «реакции колонны» при экспериментальной ситуации его внезапного нарушения [4]. Приведенные литературные данные подтверждают мнение, что силовые возможности передней группы мышц голени формируются и проявляются в противодействии сократительной активности подошвенных сгибателей стопы, выполняющих роль своеобразного тренирующего фактора.

Таким образом, обследование здоровых испытуемых разного возраста, пола и спортивной подготовленности, с одной стороны, подтвердило исходное положение об отсутствии функционально значимых асимметрий в системе мышц-антагонистов голени у здоровых субъектов, с другой, выявило определенные закономерности в развитии их контрактных возможностей, связанных со спецификой преобладающего типа функциональных нагрузок.

Если асимметрия в отношении силы мышц нижних конечностей, судя по приведенным выше данным, практически отсутствует, то в отношении верхних известно, что сила кистевого схвата спра-

ва у правой больше, чем слева. Поскольку такой показатель, как максимальный момент силы мышцы определяется уровнем ее тренированности и в значительной степени зависит от ряда объективных и субъективных факторов, мы сочли целесообразным дополнительно проанализировать феномен моторной асимметрии по результатам электронейромиографического тестирования мышц верхних и нижних конечностей у здоровых испытуемых.

В табл. 3 и 4 приведены усредненные параметры произвольной и вызванной активности мышц, рассчитанные для левой и правой конечностей, а также усредненная разность (взятая по абсолютной величине) одноименных показателей левой и правой конечностей, отнесенная к большему значению и выраженная в процентах от него. Рассчитанный подобным образом коэффициент асимметрии является мерой реально существующие различий абсолютных величин функциональных характеристик одноименных мышц, что необходимо учитывать в вопросах интерпретации функциональных асимметрий у больных с клиническими признаками односторонней функциональной недостаточности сенсомоторных структур.

Таблица 3

Асимметрия амплитуды М-ответов и суммарной ЭМГ мышц верхних и нижних конечностей у здоровых испытуемых ($M \pm m$)

Мышцы	Амплитуда М-ответа, мВ			Амплитуда суммарной ЭМГЭ, мВ		
	Левая	Правая	Ка, %	Левая	Правая	Ка, %
Верхние конечности						
m. deltoideus	12,02 $\pm$ 1,13	11,49 $\pm$ 1,59	11,1 $\pm$ 2,5	2,09 $\pm$ 0,23	2,06 $\pm$ 0,24	8,5 $\pm$ 1,3
m. bic.br	25,41 $\pm$ 1,27	25,01 $\pm$ 1,54	9,4 $\pm$ 1,6	2,11 $\pm$ 0,19	2,19 $\pm$ 0,85	8,0 $\pm$ 0,6
m. tric. br	29,86 $\pm$ 1,32	30,67 $\pm$ 1,00	12,6 $\pm$ 1,5	0,88 $\pm$ 0,09	0,91 $\pm$ 0,11	15,5 $\pm$ 1,3
m. fl. carpi rad.	25,17 $\pm$ 1,04	26,01 $\pm$ 1,10	12,4 $\pm$ 1,0	0,62 $\pm$ 0,05	0,74 $\pm$ 0,10	17,7 $\pm$ 1,2
mm. Thenar	15,02 $\pm$ 1,14	17,97 $\pm$ 1,04	11,3 $\pm$ 1,3	1,66 $\pm$ 0,17	1,73 $\pm$ 0,16	9,1 $\pm$ 0,9
m.fl. carpi uln.	14,52 $\pm$ 1,47	14,37 $\pm$ 1,41	11,1 $\pm$ 1,7	0,46 $\pm$ 0,03	0,53 $\pm$ 0,08	14,2 $\pm$ 1,0
mm. Hypothenar	13,83 $\pm$ 0,44	13,51 $\pm$ 0,56	11,5 $\pm$ 1,4	1,00 $\pm$ 0,14	1,06 $\pm$ 0,12	12,0 $\pm$ 1,5
m. ext.dig.	15,06 $\pm$ 0,96	16,76 $\pm$ 0,93	9,6 $\pm$ 1,0	0,76 $\pm$ 0,09	0,89 $\pm$ 0,10	17,2 $\pm$ 1,6
Нижние конечности						
m. rectus fern.	21,73 $\pm$ 0,69	21,66 $\pm$ 0,66	10,9 $\pm$ 1,5	0,75 $\pm$ 0,05	0,70 $\pm$ 0,06	9,7 $\pm$ 1,2
m. biceps fern.	—	—	—	0,81 $\pm$ 0,06	0,79 $\pm$ 0,05	13,3 $\pm$ 1,2
m. tibialis ant.	7,56 $\pm$ 0,28	7,93 $\pm$ 0,30	13,0 $\pm$ 0,7	0,72 $\pm$ 0,04	0,74 $\pm$ 0,04	8,2 $\pm$ 1,2
m. ext.dig.br.	10,86 $\pm$ 0,63	10,39 $\pm$ 0,68	10,9 $\pm$ 0,6	—	—	—
m. gastr.(c.L)	31,92 $\pm$ 1,07	31,26 $\pm$ 1,38	14,9 $\pm$ 0,9	0,48 $\pm$ 0,03	0,49 $\pm$ 0,04	15,3 $\pm$ 1,3
m. soleus	25,94 $\pm$ 0,84	26,06 $\pm$ 0,91	12,7 $\pm$ 1,6	—	—	—
m. flex.dig.br.	16,08 $\pm$ 1,05	17,76 $\pm$ 1,19	9,2 $\pm$ 0,4	—	—	—

Таблица 4

Асимметрия амплитуды ТКВП и максимальных Н-рефлексов у здоровых испытуемых ($M \pm m$)

Мышцы	Амплитуда ТКВП, мВ			Амплитуда Н-рефлексов, мВ		
	Левая	Правая	Ка, %	Левая	Правая	Ка, %
mm. Thenar	9,46 $\pm$ 0,71	9,38 $\pm$ 0,62	12,3 $\pm$ 1,0	—	—	—
mm. Hypothenar	6,37 $\pm$ 0,71	6,72 $\pm$ 0,64	11,7 $\pm$ 1,4	—	—	—
m. tibialis ant.	5,33 $\pm$ 0,34	5,02 $\pm$ 0,45	10,9 $\pm$ 1,1	—	—	—
m. gastr. (c. L)	—	—	—	7,19 $\pm$ 0,58	7,29 $\pm$ 0,57	8,3 $\pm$ 0,7
m. soleus	—	—	—	9,90 $\pm$ 0,74	9,42 $\pm$ 0,76	9,1 $\pm$ 0,8

Из табл. 3 и 4 видно, что статистически значимые различия ЭМГ-показателей мышц левой и правой конечностей у здоровых субъектов отсутствует.

Тем не менее, в индивидуальных случаях у каждого обследованного нами испытуемого выявлены различия в величине анализируемых показателей между одноименными мышцами рук и ног, варьирующие в пределах 8–18 % от большей величины.

Эти различия могут быть связаны, в частности, с неизбежным «шумом» методики – вариации в позиционировании отводящих и стимулирующих электродов, которые мы стремились свести к минимуму.

Другой причиной, которая способна существенно повлиять на изучаемые признаки – асимметрия эмбрио- и гистогенеза мышц как врожденного, так и приобретенного характера, выявляемая макроанатомически и функционально в виде незначительной разницы в длине, объеме и силе отдельных мышц или мышечных групп. При этом, слабо выраженная функциональная недостаточность определенных мышц, связанная с различием общего числа мышечных волокон, компенсируется либо за счет рабочей гипертрофии мышечных волокон как исходно более слабой мышцы, так и ее принципиальных синергистов.

В качестве третьей причины рассматривается возможное проявление эффекта «дисциркуляторной функциональной асинапсии», по нашему мнению, связанного с существующей в норме инактивацией части мионевральных синапсов ишемического генеза. Иными словами, есть основание полагать, что в зонах функциональной декарпиляризации недостаточно нагруженной мышцы некоторая часть ее мионевральных структур, весьма чувствительных к гипоксии, переходит в дисфункциональное состояние, т. е. не обеспечивает передачу возбуждения с нерва на мышцу. Развитие рабочей гиперемии после достаточно интенсивной циклической нагрузки приводит к возрастанию числа функционирующих капилляров и, соответственно, к рекрутированию фракции исходно инактивированных синапсов. Достаточно убедительным доказательством такого предположения является прирост амплитуды М-ответов в среднем, по объединенным данным тестирования левой и правой *m. rectus femoris* ($n = 64$), на 9,5 % (до велоэргометрической пробы – $21,70 \pm 0,48$ мВ, после велоэргометрической пробы – $23,77 \pm 0,53$ мВ; $P < 0,01$).

Заключение

Приведенные данные следует рассматривать в качестве дополнительного подтверждения генетически предопределенного отсутствия билатеральных различий в структурно-функциональной организации одноименных модулей сенсомоторного аппарата верхних и нижних конечностей. Иными словами, в процессе формирования пары

симметрично расположенных мышц головы, туловища и конечностей предполагается использование одинакового количества двигательных единиц. Это положение подтверждается данными стимуляционной электромиографии как в отношении периферических нейромоторных образований нижних, так и верхних конечностей. Врожденная доминантность того или иного полушария является предпосылкой к рабочей гипертрофии функционально более нагруженной конечности, которая как у левшей, так и у правшей может быть частично или полностью нивелирована социальными факторами, определяющими специфику моторного поведения субъекта. Представляется очевидным, что в отношении мышц туловища и нижних конечностей формирование функциональных асимметрий физиологически нецелесообразно. Что касается мышц верхних конечностей, то доминантность полушария определяет постепенное адаптивное развитие (в онтогенезе) рабочей гипертрофии мышц контралатеральной руки, не связанное с увеличением числа функционирующих ДЕ и количеством мышечных волокон, входящих в их состав. Предполагается также, что особенности постнатального морфогенеза иннервационного аппарата мышц и развития их сосудистого русла накладывают определенный отпечаток на латерализацию функциональные характеристики, придавая ей стохастический характер. Тем не менее, в каждом конкретном случае при попытках сопоставления контрактильных и активационных характеристик одноименных мышц левой и правой конечностей, эти различия, не связанные с доминантностью одного из мозговых полушарий, прослеживаются, что, в частности, может быть обусловлено предтестовой асимметрией уровня фоновой капилляризации одноименных мышц и, соответственно, неравномерностью количества функционально активных мышечных волокон.

Учитывая это обстоятельство, становится очевиден физиологический смысл так называемой «предстартовой разминки» спортсменов. Стохастичность моторных асимметрий у здоровых субъектов определяется также флуктуациями состояния центральных и периферических сенсомоторных структур, изменяющихся под влиянием различных эндогенных и экзогенных факторов, в совокупности формирующих текущее функциональное состояние двигательного аппарата в целом и отдельных его элементов, в частности.

Литература

1. Аствацатуров М.И. О происхождении праворукости в функциональной асимметрии мозга // *Научная медицина*. – 1923. – № 11. – С. 76–90.
2. Богданов В.А., Гурфинкель В.С. Биомеханика локомоций человека // *Физиология движений*. – Л.: Наука, 1976. – С. 276–315.

Интегративная физиология, восстановительная и адаптивная физическая культура

3. Гинсбург В.В. Об асимметрии конечностей человека // *Природа*. – 1947. – № 8. – С. 42–46.
4. Гурфинкель В.С., Коц Я.М., Шик М.Л. Регуляция позы человека. – М.: Наука, 1965. – 256 с.
5. Ильин Е.П. Возрастные изменения силы, тонуса и выносливости мышц рук в связи с праворукостью // *Материалы 4-й научной конференции по вопросам возрастной морфологии, физиологии и биохимии*. – М., 1959. – С. 140–141.
6. Ильин Е.П. О функциональной асимметрии ног // *Материалы 8-й научн. конф. по вопросам морфологии, физиологии и биохимии мышечной деятельности*. – М.: Физкультура и спорт, 1964. – С. 98–99.
7. Куневич В.Г. Динамика развития силы мышц в связи с возрастом // *Вопросы физиологии нервной и мышечной систем: Труды Ленинградского сан.-гиг. мед. ин-та*. – Л., 1950. – С. 51–57.
8. Потапова М.М. Изменения в функциональном состоянии организма работников умственного труда, совмещающих работу с вечерним обучением // *Теор. и практ. физ. культ.* – 1964. – № 1. – С. 52–57.
9. Смирнова В.Д., Горбачева Т.Г. О проявлении функциональной асимметрии у школьников // *13-й съезд Всесоюзного физиол. общества им. И.П. Павлова*. – Л.: Наука, 1979. – Т. 2. – С. 296–297.
10. Уфлянд, Ю.М. Физиология двигательного аппарата человека. – Л.: Медицина, 1965. – 363 с.
11. Черняев Г.И. Характеристика силы отдельных групп мышц у членов некоторых олимпийских команд страны // *Материалы 8-й научной конф. по вопросам морфологии, физиологии и биохимии мышечной деятельности*. – М.: Физкультура и спорт, 1964. – С. 280–281.
12. Шеин А.П., Криворучко Г.А., Сайфутдинов М.С. АРМ «Миотест». Алгоритмы обработки данных // *Автоматизированное рабочее место врача: Сборник докладов Международной научно-практической конференции*. – Днепропетровск: ИПК ИнКомЦентра УГХТУ, 2002. – С. 180–183.
13. Шеин А.П., Криворучко Г.А., Сайфутдинов М.С. АРМ «Миотест». Описание базовой методики // *Автоматизированное рабочее место врача: Сборник докладов Международной научно-практической конференции*. – Днепропетровск: ИПК Ин-КомЦентра УГХТУ, 2002. – С. 176–179.
14. Юшкевич Т.П. Скоростно-силовые характеристики различных мышечных групп // *Теор. и практ. физ. культ.* – 1978. – № 5. – С. 34–35.