

## ВЛИЯНИЕ ГИПОКИНЕЗИИ И ИНВОЛЮТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ НА УДЕЛЬНУЮ СИЛУ ТЫЛЬНЫХ СГИБАТЕЛЕЙ СТОПЫ ПРИ ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ ПАТОЛОГИИ И У ТРЕНИРОВАННЫХ МУЖЧИН С АЦИКЛИЧЕСКИМ ТИПОМ НАГРУЗКИ

Л.А. Гребенюк<sup>1</sup>, А.В. Грязных<sup>2</sup>, Р.В. Кучин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» имени академика Г.А. Илизарова, г. Курган, Россия,

<sup>2</sup>Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Россия

**Цель** исследования состояла в сравнительном анализе силовых показателей мышц голени и анатомического поперечника у людей с гипокинезией при ортопедической патологии и высоким уровнем тренированности ациклического вида. **Материалы и методы.** Исследовано пять групп людей. В первую группу ( $n = 12$ ) вошли пациенты  $18,7 \pm 1,23$  лет с удлинённой голенью по Илизарову, во вторую группу – здоровые сверстники, не занимающиеся спортом. Третья группа представлена квалифицированными спортсменами борцами  $18,8 \pm 1,99$  лет ( $n = 10$ ). Четвёртую группу составили здоровые мужчины-неспортсмены  $44,1 \pm 5,38$  лет ( $n = 12$ ). В пятую группу вошли борцы в возрасте  $47,8 \pm 5,89$  лет ( $n = 10$ ). Определяли моменты силы (МС) тыльных и подошвенных сгибателей стопы (ТСС и ПСС), с помощью ультрасонографии – анатомический поперечник мышц ТСС и рассчитывали их удельную силу. **Результаты.** Установлено снижение МС ТСС поражённой голени относительно интактной на 36,9%. МС ТСС у молодых спортсменов и сверстников спортсменов варьировали от  $41,6 \pm 3,59$  Н·м справа до  $41,1 \pm 5,22$  слева, от  $42,7 \pm 9,44$  Н·м до  $43,9 \pm 7,90$  в группе 3 соответственно. В старших возрастных группах МС ТСС превышали таковые у молодых спортсменов и сверстников-борцов. Удельная сила ТСС поражённой голени у пациентов составила  $2,8 \pm 0,81$  Н·м/см<sup>2</sup>, интактной –  $3,2 \pm 0,62$ ; у молодых спортсменов –  $3,9 \pm 0,25$  (справа) и  $3,9 \pm 0,44$  (слева) ( $p < 0,05$ ); у молодых борцов –  $4,5 \pm 0,44$  и  $4,5 \pm 0,36$  соответственно, т. е. выше, чем в группе 2 ( $p < 0,05$ ); у старших спортсменов –  $4,2 \pm 0,74$  и  $4,2 \pm 0,67$  Н·м/см<sup>2</sup> соответственно, что достоверно ниже, чем у молодых борцов. У пациентов наблюдались наименьшие значения МС ПСС на обеих голених ( $p < 0,05$ ). У молодых спортсменов МС ПСС достигал  $249,0 \pm 26,42$  Н·м (справа) и  $252,0 \pm 28,21$  (слева), т. е. на 15–20,5 % выше, чем у сверстников-неспортсменов. У старших борцов МС ПСС был на 17,4–21,8 % выше, чем у сверстников-неспортсменов ( $p < 0,05$ ). **Заключение.** При гипокинезии у ортопедических пациентов функциональные свойства и удельная сила передней группы мышц оказалась наименьшей относительно параметров у представителей других групп. Вследствие регулярных повышенных ациклических нагрузок удельная сила указанных мышц у молодых спортсменов и более зрелого возраста превышала параметры у спортсменов.

**Ключевые слова:** анатомический поперечник мышц, удельная сила мышц, тыльные сгибатели стопы, удлинение голени, ультрасонография, гипокинезия, борцы-единоборцы, инволютивные процессы.

**Введение.** Достижение удовлетворительных результатов лечения ортопедических пациентов по методу Г.А. Илизарова связано с необходимостью проведения комплекса реабилитационных мероприятий. Критериями восстановления функционального состояния опорно-двигательной системы в этом периоде являются силовой показатель мышц и структурные характеристики мышц поражённой конечности. Такие же подходы используются для оценки тренирующих воздействий различного вида [1, 2, 7].

Инволютивные процессы в опорно-двигательной системе ведут к возрастному снижению массы и функции скелетных мышц, что частично можно предотвратить систематическими физическими упражнениями и соответствующей диетой [9, 17, 18]. По мнению Di Iorio A. с соавт. (2006), формирование адекватного возрасту образа жизни является доступным способом изменить некоторые неблагоприятные последствия старения и, в частности, саркопении [4, 19]. В этом контексте необходима объективизация, а также единый подход

в оценке количественных показателей мышечной силы и анатомических характеристик мышц конечностей у людей с ортопедическими заболеваниями и различной степенью тренированности.

Цель настоящего исследования состояла в сравнительном анализе моментов силы мышц голени и анатомического поперечника у людей с гипокинезией при ортопедической патологии и у лиц с высоким уровнем тренированности ациклического вида.

**Материалы и методы исследования.** Для изучения функциональных свойств мышц голени было обследовано пять различных групп людей. **В группу 1** ( $n = 12$ , средний возраст  $18,7 \pm 1,23$  лет) вошли пациенты с состоянием после удлинения укороченной голени по методу Илизарова на 4–6,5 см и ограниченной локомоторной активностью в силу анатомических изменений пораженной нижней конечности. Срок после уравнивания длины сегментов был равен одному году и более. **Группу 2** составили здоровые сверстники мужского пола, не имеющие регулярных физических нагрузок ( $n = 10$ , возраст равен  $19,6 \pm 1,84$  лет). **Группа 3** представлена спортсменами борцами (мастера спорта и кандидаты в мастера спорта) греко-римского стиля в возрасте  $18,8 \pm 1,99$  лет ( $n = 10$ ). **Группу 4** составили практически здоровые мужчины, не занимающиеся спортом, в возрасте  $44,1 \pm 5,38$  лет ( $n = 12$ ). **В группу 5** были включены высококвалифицированные борцы греко-римского стиля (мастера спорта и мастера международного класса) в возрасте  $47,8 \pm 5,89$  лет ( $n = 10$ ), продолжающие с юношеских лет заниматься спортом и участвовать в соревнованиях. У всех обследованных проводились антропометрические измерения (масса тела, рост стоя), а также определяли момент силы мышц голени – ТСС (тыльных сгибателей стопы) и ПСС (подошвенных сгибателей стопы) в изометрическом режиме. С этой целью использовали динамометрический стенд для определения моментов силы мышц голени ( $H \cdot m$ ) при установке стопы в голеностопном суставе 90 град. (разработка РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова). Кроме того, осуществляли ультразвуграфию (УСГ) мышц голени в положении лежа на спине при установке стопы в голеностопном суставе 90 град., использовали ультразвуковой сканер Siemens SI-450 и линейный датчик 7,5 МГц. При поперечном УСГ-сканировании измеряли площадь по-

перечного сечения мышц – ТСС (анатомический поперечник,  $cm^2$ ). Удельную силу мышц ТСС определяли как отношение момента силы на величину анатомического поперечника ( $H \cdot m / cm^2$ ). Статистический анализ проводили с помощью программного обеспечения AtteStat, разработка И.П. Гайдышева, встроенную в Excel Microsoft Office. Настоящая работа проведена в соответствии с этическими принципами Хельсинской декларации (World Medical Association Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013). Все обследованные пациенты давали информированное письменное согласие на осуществление исследования, а также было получено одобрение этического комитета ФГБУ РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова на проведение исследования. Обследованные здоровые люди различного возраста (контрольные группы, не занимающиеся спортом) и группы спортсменов-борцов также давали согласие на осуществление физиологических обследований.

**Результаты и обсуждение.** При проведении настоящего исследования были получены следующие результаты. Установлено, что масса тела представителей группы 1 с ортопедической патологией статистически не отличалась от показателя сверстников второй группы – неспортсменов. Ростовые параметры здоровых сверстников-неспортсменов в возрасте  $19,6 \pm 1,84$  лет во второй группе превышали таковые в группе пациентов, а также в группе 3 – молодых спортсменов в возрасте  $18,8 \pm 1,99$  ( $p < 0,05$ ). Аналогичные соотношения наблюдались в четвертой (неспортсмены) и пятой группах (борцы), возраст которых составлял  $44,1 \pm 5,38$  лет и  $47,8 \pm 5,89$  лет соответственно.

При сопоставлении функциональных возможностей пораженной и интактной голени в группе 1 установлено снижение момента силы мышц ТСС оперированного сегмента на 36,9 % ( $p < 0,05$ ) (табл. 1).

Достоверно более низкие величины силовых возможностей передней группы мышц как пораженной, так и интактной голени оказались по сравнению с группой здоровых сверстников-неспортсменов группы 2, а также групп № 3–5. Как вытекает из табл. 1, силовые параметры тыльных сгибателей стопы у молодых неспортсменов (группа 2) и их сверстников спортсменов-борцов (группа 3) имели близкие величины, варьируя в диапазоне

Таблица 1  
Table 1

Моменты силы мышц и удельная мышечная сила тыльных сгибателей стопы (ТСС) в группе ортопедических больных и у лиц с ациклическим регулярным типом тренировочного процесса  $M \pm \sigma$  (Н·м)

The moment of force and specific force of lateral foot flexors (LFF) in the group of orthopedic patients and athletes from acyclic sports  $M \pm \sigma$  (N·m)

Группа, n Group, n	Прав. ТСС Right LFF	Лев. ТСС Left LFF	Пр. уд. сила** Specific force** right	Лев. уд. сила** Specific force** left	p
1 – больн., n = 12 1 – unhealthy	<b>Бол. Aff.</b> <b>18,3 ± 8,55#</b>	<b>Инт. Healthy</b> <b>28,6 ± 8,68</b>	<b>Бол. Aff.</b> <b>2,8 ± 0,81</b>	<b>Инт. Healthy</b> <b>3,2 ± 0,62</b>	< 0,01
НДИ:ВДИ LCI:UCI	5,69:20,96	20,57:36,62	2,26:3,29	2,85:3,63	
2 – молодые неспортсм., n = 10 2 – young non-athletes	<b>41,6 ± 3,59##</b>	<b>41,1 ± 5,22</b>	<b>3,9 ± 0,25<sup>2-3</sup></b>	<b>3,9 ± 0,44<sup>2-3</sup></b>	< 0,05
НДИ:ВДИ LCI:UCI	1,47:3,59	2,13:5,22	3,68:4,21	3,45:4,36	
3 – молодые спортсм., n = 10 3 – young athletes	<b>42,7 ± 9,44</b>	<b>43,9 ± 7,90</b>	<b>4,5 ± 0,44<sup>3-5##</sup></b>	<b>4,5 ± 0,36<sup>3-5</sup></b>	< 0,05
НДИ:ВДИ LCI:UCI	35,94:49,47	38,32:9,63	4,08:4,89	4,22:4,89	
4 – старшие неспортсм., n = 11 4 – older non-athletes	<b>48,8 ± 7,15#</b>	<b>50,4 ± 7,44</b>	–	–	< 0,05
НДИ:ВДИ LCI:UCI	44,48:53,12	45,86:54,86			
5 – старшие спортсм., n = 10 5 – older athletes	<b>48,9 ± 9,03</b>	<b>44,3 ± 6,54</b>	<b>4,2 ± 0,74</b>	<b>4,2 ± 0,67</b>	
НДИ:ВДИ LCI:UCI	42,44:55,42	39,59:48,94	3,68:4,73	3,69:4,65	

*Примечание.*  $M \pm \sigma$ , где  $M$  – среднее значение,  $\sigma$  – стандартное отклонение, НДИ:ВДИ – нижний и верхний доверительный интервал среднего значения,  $n$  – количество обследованных, Н·м – Ньютон·метр, \*\* – единица измерения удельной силы мышц – Ньютон·метр/см<sup>2</sup>,  $p$  – статистическая значимость, Бол. – пораженная голень, Инт. – интактная голень. пр. – правая голень, лев. – левый сегмент, # статистическая значимость отличий по t-критерию Стьюдента с достоверностью  $p < 0,001$ , ## – статистическая значимость отличий по Стьюденту  $p < 0,05$ .

*Note.*  $M \pm \sigma$ , where  $M$  – average value,  $\sigma$  – standard deviation, LCI:UCI – lower and upper confidence interval,  $n$  – number of participants, N·m – Newton-meter, \*\* – measurement unit for specific force – Newton-meter/cm<sup>2</sup>,  $p$  – statistical significance, Aff. – affected leg, Healthy – healthy leg. right – right leg, left – left leg.

41,6 ± 3,59 (справа) и 41,1 ± 5,22 (слева) в группе 2 и 42,7 ± 9,44 (справа) и 43,9 ± 7,90 (слева) в третьей группе соответственно ( $p > 0,05$ ). Латеральная асимметрии силовых показателей передней группы мышц голени у молодых неспортсменов и их сверстников борцов не наблюдалось.

В старших возрастных четвертой и пятой группах моменты силы ТСС превышали таковые у молодых неспортсменов и их сверстников-борцов. Следовательно, у людей старшего зрелого периода силовые возможности мышц передней группы голени расширяются, за ис-

ключением показателей на левой голени, моменты силы ТСС которой у борцов пятой группы были ниже относительно показателей на правой голени той же возрастной группы и обеих голеней сверстников-неспортсменов в группе 4.

Удельная сила мышц ТСС оказалась наименьшей в группе с ортопедической патологией ( $p < 0,05$ ). У молодых спортсменов с ациклическим типом тренирующих воздействий (борцов) удельная сила мышц передней группы была максимальной, составив 4,5 ± 0,44 Н·м/см<sup>2</sup> (справа) и 4,5 ± 0,36 (слева).

Анатомический поперечник мышц (см<sup>2</sup>) передней группы мышц голени (ТСС) обследованных групп людей, М ± σ  
Anatomical cross-sectional area (cm<sup>2</sup>) of frontal muscles of the shin (LFF) in the groups studied, M ± σ

Параметр Parameter	Больные Unhealthy n = 12		Молод. неспортсм. Young non-athletes n = 10		Молод. спортсм. Young athletes n = 10		Старш. спортсм. Older athletes n = 10	
	Больная Affect.	Интактная Healthy	Правая Right	Левая Left	Правая Right	Левая Left	Правая Right	Левая Left
Ср. зн. ± ст. откл. Aver. value ± SD	5,91 ± 3,19#	10,21 ± 3,33	10,12 ± 1,17	10,2 ± 1,08	11,57 ± 0,79	11,93 ± 0,73	11,86 ± 1,57	11,93 ± 1,37
НДИ:ВДИ LCI:UCI	3,88: 7,94	6,82: 13,59	8,89: 11,34	9,13: 11,4	10,84: 12,29	11,25: 12,61	10,4: 13,31	10,66: 13,19
Станд. ош. SE	0,92	1,54	0,48	0,44	0,29	0,28	0,59	0,52
Медиана Median	5,9	9,45	9,8	10	12,0	12,0	12	12,5
НДИ:ВДИ LCI:UCI	3,10:9,2	6,90:11,0	9,2:11,0	9,7:11,0	11,0:12,0	11,0:12,5	10,0:13,0	10,0:13,0

*Примечание.* М ± σ, где М – среднее значение, σ – стандартное отклонение, # – статистическая значимость различий площади поперечного сечения мышц ТСС больной и интактной голени составляет 0,01, p < 0,01.

*Note.* M ± σ, where M – average value, σ, SD – standard deviation, SE – standard error; # – statistical significance of the difference between anatomical cross-sectional area of LFF in the affected and healthy shin 0.01, p < 0.01.

Это превысило параметры у сверстников-неспортсменов и борцов старшей возрастной группы (p < 0,05).

Ранее J. Nørregaard et al. [14] описали заметное снижение мышечной силы подошвенных сгибателей стопы и сгибателей голени у пациентов с фибромиалгией, при этом значимых различий в силе тыльных сгибателей стопы не наблюдалось. Снижение мышечной силы по мере развития инволютивных процессов при старении прослежено у женщин с фибромиалгией в другой работе, причем, более выраженные у таких пациентов по сравнению с группой здоровых сверстниц [8].

Для изучения влияния различных факторов на анатомо-функциональные характеристики мышц целесообразно сопоставлять силовые показатели с мышечными размерами и архитектурой мышечной ткани. В этом контексте широкое применение нашли измерения площади поперечного сечения мышц конечностей с помощью УСГ, магнитно-резонансной томографии и компьютерной томографии. Yasuo Kawakami (2005) указывает на увеличение площади поперечного сечения и объема мышц – вследствие мышечной гипертрофии как реакцию на силовую тренировку [5]. Ав-

тор отмечает, что площадь поперечного сечения передней большеберцовой мышц составила 9 см<sup>2</sup>. По данным МРТ, как показал Р.К. Shah с соавт. (2006), имеется значительное снижение площади поперечного сечения мышц нижних конечностей, в том числе ТСС, при неполном повреждении спинного мозга [15].

В нашем исследовании с помощью ультразвуковой визуализации проводились измерения анатомического поперечника мышц ТСС, т. е. суммарный показатель передней группы мышц, и соответственно осуществлялись замеры момента силы этих же мышц с помощью динамометрического стенда у представителей всех пяти групп (табл. 2).

Анатомический поперечник мышц ТСС обследованных представлен в виде среднего значения ± стандартное отклонение (параметрический показатель) и медианы (непараметрический параметр) (см. табл. 2). Установлена выраженная асимметрия анатомического поперечника в группе с ортопедической патологией – площадь поперечного сечения мышц ТСС пораженной голени составила 5,91 ± 3,19 см<sup>2</sup>, что на 42,1 % ниже показателя на интактном сегменте, равного 10,21 ± 3,33 см<sup>2</sup> (p < 0,01).

Такое снижение показателя анатомического поперечника связано с атрофическими явлениями в мышцах пораженного сегмента, несмотря на то, что продольные размеры голени после лечения были идентичны интактному сегменту. Структурные изменения костно-мышечных структур пораженной конечности в первой группе влекут за собой функциональные нарушения, в том числе – гипокинезию. В литературе отсутствие функциональной нагрузки обозначается термином «неиспользование» («disuse»). Отмечается, что в течение даже коротких периодов «неиспользования» мышц развивается мышечная атрофия [20].

В группах 2, 3, 5 асимметрии численных значений анатомического поперечника ТСС не наблюдалось. Вместе с тем выявлены более низкие значения анатомического поперечника ТСС интактной голени в первой группе и во второй группе молодых спортсменов относительно параметров у мужчин третьей и пятой групп, т. е. у молодых борцов и спортсменов старшего возраста. При этом площадь поперечного сечения ТСС интактной (контралатеральной) голени достоверно не отличалась от показателя второй группы молодых спортсменов. Анализ литературы показывает, что использование полученных прижизненно замеров анатомических параметров мышц предпочтительнее, чем полученных на секционных препаратах. Так, С.М. Tate et al. (2006) сообщают о получении более низких указанных морфологических параметров мышц и сухожилий спортсменов при исследовании секционного материала [8]. На основании комплексного исследования мышц (МРТ, УСГ, измерение изометрической силы) С.Л. Hasson с соавт. (2012) пришли к выводу, что передняя большеберцовая мышца в наименьшей степени подвержена старению [6]. В то время как, по мнению М.В. Nagici с соавт. (1985), площадь поперечного сечения и объем икроножной мышцы голени у пожилых физически активных мужчин были на 25,4 % меньше, чем у молодых лиц [13]. Значимое снижение площади поперечного сечения, объема и длины мышечных пучков у пожилых мужчин относительно параметров у молодых людей в возрасте 25 лет описаны С.Л. Morse с соавт. (2005), которые авторы связывают с развитием саркопении как проявлением инволютивных процессов в скелетных мышцах [11].

При анализе показателей моментов силы

ПСС установлено, что в первой группе наблюдались наименьшие значения показателей, причем как на пораженной, так и на контралатеральной голени.

При анализе показателей моментов силы ПСС установлено, что в первой группе наблюдались наименьшие значения показателей как на пораженной, так и на интактной голени. Обращает на себя внимание снижение силы ПСС удлинённого сегмента на 38,8 % относительно контралатерального сегмента и на 62,7 % – параметров в группе здоровых сверстников-неспортсменов ( $p < 0,01$ ). Отмечено достоверное превышение моментов силы ПСС в группе молодых спортсменов, составивших  $249,0 \pm 26,42$  Н·м для правой и  $252,0 \pm 28,21$  Н·м – для левой голени, т. е. на 20,5 % (справа) и 15 % (слева) выше, чем во второй группе сверстников-неспортсменов ( $p < 0,05$ ). О влиянии инволютивных процессов свидетельствует снижение моментов силы ПСС у лиц более старшего возраста – четвертой и пятой групп – относительно показателей у спортсменов в возрасте  $18,8 \pm 1,99$  лет. С другой стороны, многолетние ациклические нагрузки у спортсменов старшей возрастной группы поддерживают высокие функциональные возможности мышц ПСС. Моменты силы ПСС в указанной пятой группе составила  $222,2 \pm 40,36$  Н·м на правой голени и  $220,6 \pm 35,19$  Н·м – на левой, что на 21,8–17,4 % (справа и слева соответственно,  $p < 0,05$ ) выше параметров у сверстников-неспортсменов. Следовательно, специфические нагрузки и двигательные навыки у обследованных нами единоборцев оказывают выраженное влияние на развитие определенных групп мышц, в частности, на мышцы ПСС. Одним из механизмов наблюдаемого явления является гипертрофия мышечных волокон и возрастание площади поперечного сечения мышц. Явления гипертрофии мышечных волокон, а также увеличение площади поперечного сечения мышц бедра и увеличение силовых параметров после тренировочных воздействий у пожилых мужчин 60–72 лет описаны W.R. Frontera с соавт. [5].

Как отмечают F. Ambrosio с соавт. [3], скелетным мышцам свойственна уникальная адаптивная способность регенерировать после различных воздействий – повышенных функциональных нагрузок или в результате травм. Изучению пластичности скелетных мышц млекопитающих посвящена работа B.S. Shenkman

[16]. Автор охарактеризовал изменение сократительных свойств мышечных структур человека после космических полетов и у животных в условиях гипокинезии. В частности, он отметил изменение фенотипа миозина и уровня капилляризации мышечных волокон. Другие исследователи предложили теорию «физического стресса» – «the Physical Stress Theory» [12], в соответствии с которой возможно прогнозирование адаптивного ответа в биологических тканях при определенном уровне физического напряжения.

Помимо вариабельности площади поперечного сечения мышц конечностей происходит также изменение пennaции мышечных пучков, более четко выявляемое при максимальном произвольном сокращении [10]. Поэтому показатель хода мышечных пучков (угол наклона – pennation) также рассматривается в качестве одного из критериев адаптивных перестроек в скелетной мышце как органе. Выявлены гендерные различия углов пennaции мышечных пучков – у мужчин при произвольном сокращении они возрастают в большей степени, чем у женщин [10]. Ценная информация была получена при сочетании МРТ и УСГ для измерения анатомического поперечника мышц, мышечного объема, длины мышечных пучков и углов пennaции у молодых и пожилых людей [13]. Было обнаружено снижение этих показателей у пожилых людей по сравнению с молодыми.

**Заключение.** В нашем исследовании установлено снижение анатомического поперечника передней группы мышц удлиненной голени у ортопедических пациентов, что связано с атрофическими явлениями в пораженном сегменте, хотя продольные размеры голени после лечения были идентичны таковым на интактной голени. В группах практически здоровых людей, не занимающихся спортом, и у спортсменов-борцов асимметрии численных значений анатомического поперечника ТСС не наблюдались. Выявлены также более низкие значения анатомического поперечника ТСС у молодых спортсменов и интактной голени в группе пациентов по сравнению с молодыми спортсменами и единоборцами старшего возраста. Удельная сила мышц ТСС оказалась наименьшей в группе с ортопедической патологией. У молодых борцов с ациклическим типом тренирующих воздействий удельная сила мышц передней группы была максимальной, превышая параметр у сверст-

ников-неспортсменов и борцов старшей возрастной группы. Сделан вывод о влиянии гипокинезии на величину удельной силы тыльных сгибателей стопы при ортопедической патологии, а также адапционных перестройках в мышцах голени у квалифицированных спортсменов как проявлении тренирующих воздействий. Вследствие регулярных повышенных ациклических нагрузок удельная сила указанных мышц – тыльных сгибателей стопы – у молодых спортсменов и более зрелого возраста превышала параметры у неспортсменов.

### Литература / References

1. Akima H., Kubo K., Imai M., Kanehisa H., Suzuki Y., Gunji A., Fukunaga T. Inactivity and Muscle: Effect of Resistance Training During Bed Rest on Muscle Size in the Lower Limb. *Acta Physiol Scand.*, 2001, vol. 172(4), pp. 269–278. DOI: 10.1046/j.1365-201x.2001.00869.x
2. Alkner BA., Norrbrand L., Tesch PA. Neuromuscular Adaptations Following 90 Days Bed Rest With or Without Resistance Exercise. *Aerosp Med Hum Perform.*, 2016, vol. 87(7), pp. 610–617. DOI: 10.3357/AMHP.4383.2016
3. Ambrosio F., Kadi F., Lexell J., Fitzgerald GK., Boninger ML., Huard J. The Effect of Muscle Loading on Skeletal Muscle Regenerative Potential: An Update of Current Research Findings Relating to Aging and Neuromuscular Pathology. *Am J Phys Med Rehabil.*, 2009, vol. 88, pp. 145–155. DOI: 10.1097/PHM.0b013e3181951fc5
4. Di Iorio A., Abate M., Di Renzo D., Rusolillo A., Battaglini C., Ripari P., Saggini R., Paganelli R., Abate G. Sarcopenia: Age-Related Skeletal Muscle Changes from Determinants to Physical Disability. *Int J Immunopathol Pharmacol.*, 2006, vol. 19 (4), pp. 703–719. DOI: 10.1177/039463200601900401
5. Frontera W.R., Meredith C.N., O'Reilly K.P., Knuttgen H.G., Evans W.J. Strength Conditioning in Older Men: Skeletal Muscle Hypertrophy and Improved Function. *J Appl Physiol (1985)*, 1988, vol. 64(3), pp. 1038–1044.
6. Hasson CJ., Caldwell GE. Effects of Age on Mechanical Properties of Dorsiflexor and Plantarflexor Muscles. *Ann Biomed Eng.*, 2012, vol. 40 (5), pp. 1088–1101. DOI: 10.1007/s10439-011-0481-4. Epub 2011 Dec 21.
7. Kawakami Y. The Effects of Strength Training on Muscle Architecture in Humans. *International Journal of Sport and Health*

*Science*, 2005, vol. 3, pp. 208–217. DOI: 10.5432/ijshs.3.208

8. Latorre-Román P.Á., Segura-Jiménez V., Aparicio V.A., Santos E., Campos M.A., García-Pinillos F., Herrador-Colmenero M., Álvarez-Gallardo I.C., Delgado-Fernández M. Ageing Influence in the Evolution of Strength and Muscle Mass in Women with Fibromyalgia: the al-Ándalus Project. *Rheumatol Int.*, 2015, vol. 35 (7), pp. 1243–1250. DOI: 10.1007/s00296-015-3213-5. Epub 2015 Jan 24.

9. Ławniczak A., Kmieć Z. Postępy Hig Med Dosw (Online). 2012, vol. 19, no. 66, pp. 392–400. [Age-Related Changes of Skeletal Muscles: Physiology, Pathology and Regeneration]. [Article in Polish]. DOI: 10.5604/17322693.1000902

10. Manal K., Roberts D.P., Buchanan T.S. Optimal Pennation Angle of the Primary Ankle Plantar and Dorsiflexors: Variations with Sex, Contraction Intensity, and Limb. *J Appl Biomech.*, 2006, vol. 22 (4), pp. 255–263. DOI: 10.1123/jab.22.4.255

11. Morse C.I., Thom J.M., Birch K.M., Narici M.V. Changes in Triceps Surae Muscle Architecture with Sarcopenia. *Acta Physiol Scand.*, 2005, vol. 183 (3), pp. 291–298. DOI: 10.1111/j.1365-201X.2004.01404.x

12. Mueller M.J., Maluf K.S. Tissue Adaptation to Physical Stress: a Proposed “Physical Stress Theory” to Guide Physical Therapist Practice, Education, and Research. *Phys Ther.*, 2002, vol. 82 (4), pp. 383–403.

13. Narici M.V., Maganaris C.N., Reeves N.D., Capodaglio P. Effect of Aging on Human Muscle Architecture. *J Appl Physiol (1985)*, 2003, vol. 95 (6), pp. 2229–2234. Epub 2003 Jul 3. DOI: 10.1152/japplphysiol.00433.2003

14. Nørregaard J., Bülow P.M., Vestergaard-Poulsen P., Thomsen C., Danneskiold-Samøe B.

Muscle Strength, Voluntary Activation and Cross-Sectional Muscle Area in Patients with Fibromyalgia. *Br J Rheumatol.*, 1995, vol. 34 (10), pp. 925–931. DOI: 10.1093/rheumatology/34.10.925

15. Shah P.K., Stevens J.E., Gregory C.M., Pathare N.C., Jayaraman A., Bickel S.C., Bowden M., Behrman A.L., Walter G.A., Dudley G.A., Vandenborne K. Lower-Extremity Muscle Cross-Sectional Area after Incomplete Spinal Cord Injury. *Arch Phys Med Rehabil.*, 2006, vol. 87 (6), pp. 772–778. DOI: 10.1016/j.apmr.2006.02.028

16. Shenkman B.S. Structural-Metabolic Plasticity of Mammalian Skeletal Muscles in Hypokinesia and Weightlessness. *Aviakosm Ekolog Med.*, 2002, vol. 36 (3), pp. 3–14.

17. Tate C.M., Williams G.N., Barrance P.J., Buchanan T.S. Lower Extremity Muscle Morphology in Young Athletes: an MRI-Based Analysis. *Med Sci Sports Exerc.*, 2006, vol. 38 (1), pp. 122–128. DOI: 10.1249/01.mss.0000179400.67734.01

18. Tieland M., Trouwborst I., Clark B.C. Skeletal Muscle Performance and Ageing. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2018, vol. 9 (1), pp. 3–19. DOI: 10.1002/jcsm.12238. Epub 2017 Nov 19.

19. Trombetti A., Reid K.F., Hars M., Herrmann F.R., Pasha E., Phillips E.M., Fielding R.A. Age-Associated Declines in Muscle Mass, Strength, Power, and Physical Performance: Impact on Fear of Falling and Quality of Life. *Osteoporos Int.*, 2016, vol. 27 (2), pp. 463–471. DOI: 10.1007/s00198-015-3236-5. Epub 2015 Jul 21.

20. Wall B.T., Dirks M.L., van Loon L.J. Skeletal Muscle Atrophy During Short-Term Disuse: Implications for Age-Related Sarcopenia. *Ageing Res Rev.*, 2013, vol. 12 (4), pp. 898–906. DOI: 10.1016/j.arr.2013.07.003. Epub 2013 Aug 12.

**Гребенюк Людмила Александровна**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории гнойной остеологии, Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова. 640014, Курганская область, г. Курган, ул. Марии Ульяновой, 6. E-mail: gla2000@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-0812-8861.

**Грязных Андрей Витальевич**, доктор биологических наук, профессор кафедры теории и методики физической культуры, Югорский государственный университет. 628012, Ханты-Мансийский Автономный округ – Югра, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16. E-mail: anvit-2004@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0727-9529.

**Кучин Роман Викторович**, кандидат биологических наук, доцент кафедры теории и методики физической культуры, Югорский государственный университет. 628012, Ханты-Мансийский Автономный округ – Югра, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16. E-mail: r\_kuchin@ugrasu.ru, ORCID: 0000-0002-5478-4846.

Поступила в редакцию 29 августа 2018 г.

## EFFECT OF HYPOKINESIA AND INVOLUTIONAL PROCESSES ON THE SPECIFIC FORCE OF LATERAL FOOT FLEXORS UNDER ORTHOPEDIC PATHOLOGY AND IN TRAINED MEN FROM ACYCLIC SPORTS

L.A. Grebenyuk<sup>1</sup>, gla2000@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-0812-8861,  
A.V. Gryaznykh<sup>2</sup>, anvit-2004@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0727-9529,  
R.V. Kuchin<sup>2</sup>, r\_kuchin@ugrasu.ru, ORCID: 0000-0002-5478-4846

<sup>1</sup>Russian Research Center "Restorative Traumatology and Orthopedics" them. Acad. G.A. Ilizarova, Russian Federation,

<sup>2</sup>Ugra State University, Khanty-Mansiysk, Russian Federation

**Aim.** The article deals with comparing strength indicators of shin muscles and anatomical cross-section area (ACSA) in persons with hypokinesia as a result of orthopedic pathology and in trained persons from acyclic sports. **Materials and methods.** We studied five groups of people. The first group (n = 12) consisted of patients aged  $18.7 \pm 1.23$  years with a lengthened shin according to Ilizarov technique. The second group included apparently healthy patients of the same age not engaged in sports. The third group consisted of professional athletes-wrestlers aged  $18.8 \pm 1.99$  years (n = 10). The fourth group comprised apparently healthy men, non-athletes aged  $44.1 \pm 5.38$  years (n = 12). The fifth group included wrestlers aged  $47.8 \pm 5.89$  years (n = 10). We established the moment of force (MF) in lateral and plantar foot flexors (LFF and PFF). We calculated the anatomical cross-section area of LFF using ultrasonography. We also established the specific force of LFF and PFF. **Results.** We established the decrease in the specific force of LFF in the affected shin by 36.9 % in comparison with a healthy shin. The specific force of LFF in young non-athletes and athletes of the same age varied between  $41.6 \pm 3.59$  N·m to the right and  $41.1 \pm 5.22$  N·m to the left. In the third group this parameter varied from  $42.7 \pm 9.44$  N·m to  $43.9 \pm 7.90$  N·m. In the older age groups, the specific force of LFF was higher than in young non-athletes and young wrestlers. The specific force of LFF in the affected shin varied from  $2.8 \pm 0.81$  N·m/cm<sup>2</sup>, in a healthy shin – from  $3.2 \pm 0.62$  N·m/cm<sup>2</sup>. The same parameter in young non-athletes varied from  $3.9 \pm 0.25$  (to the right) to  $3.9 \pm 0.44$  (to the left) (p < 0.05); in young wrestlers – from  $4.5 \pm 0.44$  to  $4.5 \pm 0.36$  respectively. This was higher than in the second group (p < 0.05). In the older group this parameter varied from  $4.2 \pm 0.74$  to  $4.2 \pm 0.67$  N·m/cm<sup>2</sup> respectively. This is significantly lower than in young wrestlers. We registered the slightest changes in the moment of force of PFF in both shins (p < 0.05). In young athletes this parameter equaled  $249.0 \pm 26.42$  N·m (to the right) and  $252.0 \pm 28.21$  (to the left), which is higher by 15–20.5 % than in young-non-athletes. In older wrestlers the moment of force of PFF was higher by 17.4–21.8 % than in older non-athletes (p < 0.05). **Conclusion.** Patients with hypokinesia demonstrate the lowest functional properties and specific force of frontal muscles in comparison with the representatives from other groups. As a result of regular acyclic loads, the specific force of frontal muscles is higher in young athletes and older athletes than in non-athletes.

**Keywords:** anatomical cross-section area, specific force of muscles, lateral foot flexors, shin lengthening, ultrasonography, hypokinesia, wrestlers, involutional processes.

Received 29 August 2018

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Гребенюк, Л.А. Влияние гипокинезии и инволютивных процессов на удельную силу тыльных сгибателей стопы при ортопедической патологии и у тренированных мужчин с ациклическим типом нагрузки / Л.А. Гребенюк, А.В. Грязных, Р.В. Кучин // Человек. Спорт. Медицина. – 2018. – Т. 18, № 4. – С. 137–144. DOI: 10.14529/hsm180420

### FOR CITATION

Grebenyuk L.A., Gryaznykh A.V., Kuchin R.V. Effect of Hypokinesia and Involutional Processes on the Specific Force of Lateral Foot Flexors under Orthopedic Pathology and in Trained Men from Acyclic Sports. *Human. Sport. Medicine*, 2018, vol. 18, no. 4, pp. 137–144. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm180420