

УДК 531/534: [57+61]

ОСОБЕННОСТИ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ХОДЬБЫ У СПОРТСМЕНОВ РАЗЛИЧНОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ

В.И. Шевцов, В.А. Щуров, Т.И. Долганова, Н.И. Буторина, И.В. Щуров

Федеральное государственное учреждение науки «Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. акад. Г.А. Илизарова Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации», Россия, 640005, Курган, ул. Марии Ульяновой, 5, e-mail: gip@rncvto.kurgan.ru

Аннотация. С целью изучения влияния занятий легкой атлетикой и борьбой на опорную и опорно–динамическую функции нижних конечностей у спортсменов разной квалификации проведено определение максимального момента силы мышц бедра и голени (стенды разработаны в Федеральном государственном учреждении науки «Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. акад. Г.А. Илизарова») и показателей опорной и опорно–динамической функций нижних конечностей на аппаратно–программном комплексе «ДиаСлед–Скан» (г. Санкт–Петербург). Обнаружено, что спортсмены, занимающиеся борьбой, при равных с легкоатлетами размерах тела имеют более высокие показатели силы мышц бедра (на 22%) и мышц голени (на 45%). В статике у борцов преобладала величина среднего функционального нагружения заднего отдела стопы относительно переднего на 17%, а у легкоатлетов – преобладала величина среднего функционального нагружения переднего отдела стопы относительно заднего на 53%. При ходьбе, наоборот, у борцов преобладает прирост нагрузки на передний отдел стопы, а у легкоатлетов – на задний отдел стопы.

Ключевые слова: динамометрия, подография, борьба, легкая атлетика, квалификация спортсменов.

Введение

В процессе спортивной тренировки происходит не только увеличение силы и скорости движений, но и изменяется структура движений, которая часто остается недоступной для объективной количественной оценки, но оценивается экспертами и зрителями. Основоположник спортивной биомеханики Н.А. Бернштейн к изучению структуры тех или иных движений подходил с позиций общей теории управления движениями человека [2]. Он изучал важнейшие элементы движений в легкой атлетике и других видах спорта. Выявленные в ходе исследований закономерности (в частности, использование реактивных сил, преодоление избыточных степеней свободы) сыграли большую роль в решении поставленных задач.

Период дальнейшего развития спортивной биомеханики представлял собой стадию глубокого изучения спортивных движений с указанных позиций. Однако решение сформулированных задач задерживалось из–за того, что существовавшими традиционными методами биомеханического анализа (в основном циклографического)

не представлялось возможным осуществить срочный контроль внутренней структуры движений.

Появившиеся в последние годы компьютеризированные комплексы позволяют выявлять не только патологические отклонения в двигательных актах, но и оценивать качество и структуру движений, особенно ходьбы. К таким диагностическим установкам, в частности, относится компьютеризированная система «ДиаСлед–Скан», созданная в г. Санкт–Петербурге.

Ходьба человека характеризуется рядом принципиальных особенностей: синергией, минимальным отклонением движения центра масс от равномерного и прямолинейного, сведением к минимуму энерготрат за счет параметрической оптимизации конфигурации ходьбы и другими [1]. Кроме того, существует алгоритм стабилизации ходьбы за счет квазипериодичности, оптимальной длины и частоты шага [11]. При ходьбе в среднем темпе работа мышечных сил подстраивается к собственной частоте колебаний нижней конечности [3, 4].

По данным В.И. Филатова [6], у здоровых людей опорный период шага составляет $0,64 \pm 0,016$ с, переносный период – $0,36 \pm 0,014$ с, двуопорный период – $0,135 \pm 0,010$ с. Длительность опоры на правую и левую стопы обычно отличается на 5% и составляет 24–29% от продолжительности шага. У мужчин период переката через передний отдел стопы достигает 35% за счет более продолжительной, по сравнению с женщинами, опоры на головку пятой плюсневой кости. Учитывая разный темп ходьбы, А.С. Витензон [4] данные нормы оценивает в процентном отношении относительно всего цикла шага: период переката через стопу составляет 45–51%, период переноса конечности над опорой 31–41%, двуопорный период шага 9–18%.

Ходьба относится к наземным локомоциям без скольжения, с постоянной опорой. В каждом цикле шага имеются две фазы двойной опоры и две фазы одиночной опоры. В течение двойного шага нога то принимает на себя опору остальных частей тела и отталкивает вперед–вверх, то переносится вперед к месту новой опоры.

Момент максимума вертикального давления Н.А. Бернштейн назвал передним толчком. Момент заднего толчка всегда совпадает с максимумом продольных усилий, продвигающих тело вперед. Следовательно, в момент заднего толчка суммируются максимумы вертикального и горизонтального усилий. Между моментами переднего и заднего толчка ноги возникает демпферный провал, соответствующий минимуму вертикального давления. В этот момент общий центр тяжести поднимается выше всего, и давление на опору, направленное вперед, сменяется давлением, направленным назад, то есть торможение сменяется отталкиванием [2, 4].

Момент силы мышц бедра и голени у спортсменов и у неспортсменов исследован авторами ранее [9]. Показано, что сила мышц–разгибателей бедра и голени у студентов–неспортсменов составляют соответственно 165 ± 7 и 153 ± 4 Н·м, у спортсменов различной специализации и квалификации эти показатели достоверно больше соответственно на 22–56% и 12–20%.

Если особенности силы мышц конечностей у спортсменов исследованы достаточно подробно, то особенности структуры шага практически не описаны.

Настоящее исследование выполнено с целью определения влияния занятий легкой атлетикой и борьбой на опорную и опорно-динамическую функции нижних конечностей у спортсменов.

Объём и методы исследования

Обследованы две группы мужчин, студентов факультета психологии, валеологии и спорта Курганского государственного университета. Первую группу составили легкоатлеты 1–3 разрядов (7 чел.), во вторую группу вошли борцы: мастера спорта и кандидаты в мастера спорта (8 человек). Возраст обследуемых мужчин составил 20–22 года. Масса тела – $75,5 \pm 2,0$ кг, рост тела – $178,5 \pm 1,4$ см. При равных продольных размерах тела его масса у борцов была относительно больше, в среднем, на 7 кг. У всех обследуемых с помощью разработанных авторами [7, 8] динамометрических стенов определялись максимальные моменты силы мышц передней и задней групп мышц бедра и голени.

Оценка статических и динамических параметров ходьбы производилась с помощью комплекса "ДиаСлед–Скан", содержащего системный блок, коммутатор и электронные стельки различных размеров, помещаемые в обувь обследуемых. У всех обследуемых с помощью динамометрических стенов определялись максимальные моменты силы мышц–разгибателей голени в положении сидя и мышц–сгибателей голени в положении стоя лицом к стенду. С помощью динамометрического стенов для исследования силы мышц голени в положении сидя при фиксированном бедре и стопе определялись моменты силы мышц–тыльных сгибателей стопы и мышц–подошвенных сгибателей стопы. Исследовались правая и левая конечности. Измерения выполнялись трёхкратно. Далее обследуемые спортсмены надевали специальную обувь с вложенными электронными стельками. Первое исследование производилось в позе стоя. Далее регистрация параметров повторялась при привычной и ускоренной ходьбе. Проходимая дистанция составляла 10 метров.

Рассчитывалось давление на различные точки стопы при стоянии и при ходьбе. Во время ходьбы определялись длительность периода переката через стопу, периода переноса конечности над опорой, двуопорный период шага, время достижения пика переднего и заднего толчков, демпферного провала. Относительно массы тела определялась величина пиков переднего и заднего толчков, демпферного провала (в %). Оценивалась максимальная нагрузка ($\text{кг}/\text{см}^2$) на отделы стопы, продольные и поперечные девиации шага (рис. 1, 2).

С помощью пакета анализа компьютерной программы *Excel* проведен корреляционный и регрессионный анализ полученных данных.

Результаты исследований и их обсуждение

При исследовании максимального момента силы передней группы мышц бедра выявлено, что справа в обеих группах сила больше на 6,4%. Задняя группа мышц правого бедра у борцов была сильнее на 5,4%. У легкоатлетов асимметрия отсутствовала. На голени мышцы–тыльного сгибателя стопы в обеих группах обследуемых были также на 3–4% сильнее справа, а сила мышц–подошвенного сгибателя стопы – практически одинаковая.

В группе борцов передняя группа мышц бедра сильнее задней на 27% ($p \leq 0,001$) а у легкоатлетов – только на 17%. Показатели мышц–тыльных сгибателей стопы у спортсменов составили 41% от уровня показателей мышц–подошвенных сгибателей стопы (рис. 3). Следовательно, сила антигравитационных мышц больше, чем мышц, обеспечивающих при локомоциях поступательное движение тела. Особенно большая разница в показателях мышц у группы борцов (табл. 1).

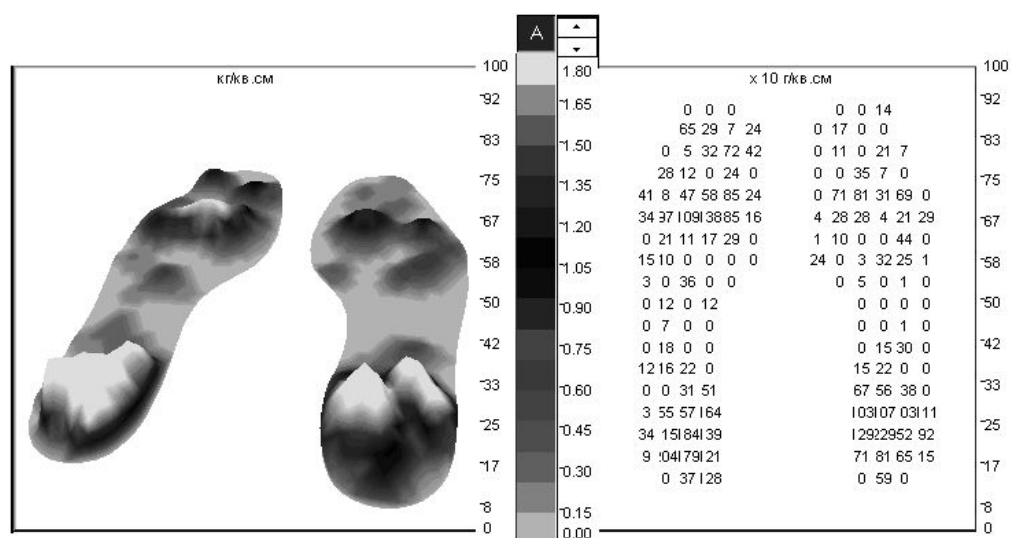


Рис. 1. Пример трехмерного и цифрового ($\cdot 10 \text{ г/см}^2$) отображения нагрузки на отделы стопы в статике

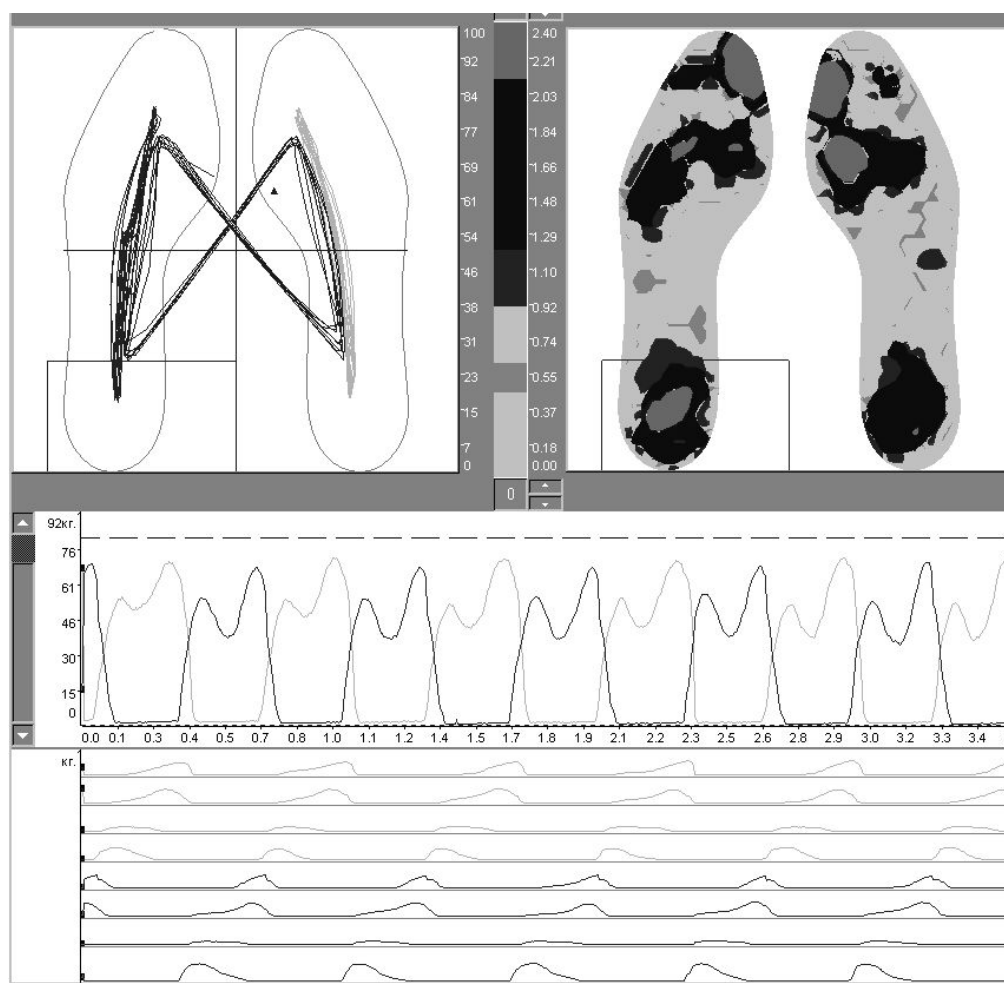


Рис. 2. Пример регистрации подограммы

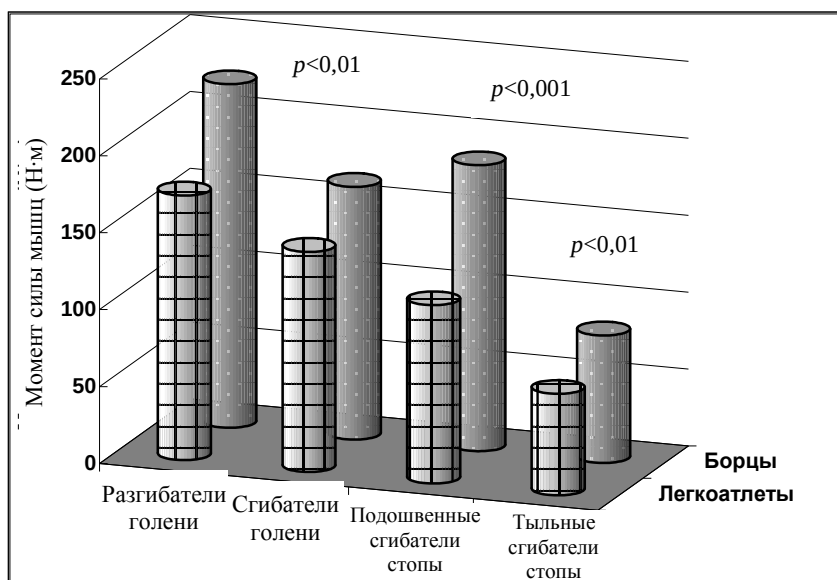


Рис. 3. Максимальный момент силы различных групп мышц бедра и голени у борцов и легкоатлетов

Таблица 1

Относительный момент силы (Н·м) различных групп мышц нижних конечностей у спортсменов ($M \pm m$)

Группы обслед.	Конечность	Бедро		Голень	
		Разгибатели	Сгибатели	Подошвенные сгибатели стопы	Тильные сгибатели стопы
Борцы (7 чел.)	правая	230,7±19,8	168,9±6,1	190,5±4,0	83,1±2,6
	левая	216,1±21,0	159,8±6,4	181,8±6,1	83,6±3,2
Легкоатлеты (8 чел.)	правая	175,2±14,7	143,9±20,1	113,4±13,9	65,5±3,9
	левая	168,3±15,8	142,7±17,7	118,6±15,6	66,6±4,3

При сравнении показателей силы мышц в двух группах выявлено существенное преимущество у борцов (у легкоатлетов от уровня показателей борцов сила разгибателей голени составила 78% ($p \leq 0,01$), сгибателей – 87%, подошвенных сгибателей стопы – 60% ($p \leq 0,001$) и тыльных сгибателей стопы – 87%).

При анализе взаимосвязи динамометрических показателей и особенностей нагружения конечности при стоянии у спортсменов разной специализации достоверных значений не выявлено.

Устойчивость тканей опорной поверхности стопы к ударным нагрузкам обеспечивается ее строением. Рассеиванию прилагаемого давления способствует септация (появление перегородок) подкожной клетчатки, что увеличивает суммарную площадь подлежащей опорной поверхности за счет стенок междольковых перегородок. В качестве доказательства способности жировой клетчатки рассеивать механическую энергию можно привести тот факт, что удельное давление перекрытия сосудов на стопе выше величины артериального давления на 50–80% [10]. Давление на гелеобразный жир, содержащийся в дольке, по физическим законам передается не только в аксиальном, но и во всех направлениях одинаково. Основываясь на приведенных выше цифрах, можно говорить о рассеивании жировой клетчаткой стопы 20–50% механической энергии.

Таблица 2

**Основные расчетные показатели графиков суммарной нагрузки
на стопы при ходьбе с разным темпом ($M \pm m$)**

Показатели		Борцы		Легкоатлеты	
		Произвольный темп (≈3,5 км/час)	Ускоренный темп (≈5,0 км/час)	Произвольный темп (≈3,5 км/час)	Ускоренный темп (≈5,0 км/час)
Длительность цикла шага		0,63±0,04	0,54±0,02	0,65±0,03	0,54±0,02
Период переката через стопу (сек)		0,36±0,0 (57%)	0,30±0,0016 (55,5%)	0,37±0,0019 (56,9%)	0,30±0,0017 (55,5%)
Период переноса конечности над опорой (сек)		0,27±0,0018 (42,8%)	0,24±0,0013 (44,8%)	0,28±0,0017 (43,1%)	0,24±0,0015 (44,4%)
Двуопорный период шага (сек)		0,095±0,001 (15,0%)	0,083±0,001 (15,3%)	0,092±0,001 (14,1%)	0,083±0,001 (15,4%)
Одноопорный период шага (сек)		0,27±0,0018 (42,8%)	0,24±0,0013 (44,8%)	0,28±0,0017 (43,1%)	0,24±0,0015 (44,4%)
Время регистрации переднего толчка (сек)		0,073±0,0015 (11,6%)	0,062±0,0011 (11,5%)	0,075±0,0012 (11,5%)	0,060±0,0014 (9,2%)
Время регистрации заднего толчка (сек)		0,29±0,014 (46,0%)	0,25±0,012 (46,3%)	0,31±0,016 (47,6%)	0,25±0,014 (46,3%)
Время регистрации демпферного провала (сек)		0,15±0,016 (23,8%)	0,13±0,013 (24,1%)	0,18±0,014 (27,7%)	0,15±0,012 (27,7%)
Главный минимум нагрузки (% от веса)		42,1±1,92	35,7±0,56	46,9±2,11	38,4±0,94
Передний толчок (% от веса)		51,9±2,78	56,4±2,99	54,3±2,89	60,9±3,14
Задний толчок (% от веса)		76,4±7,56	85,4±8,11	71,2±5,13	88,9±7,16
Соотношение задний/передний толчок		1,47±0,15	1,51±0,14	1,31±0,19	1,45±0,11
Вариабельность траектории центра давления (% от ширины стопы)		15,6±1,56	9,7±0,98	26,0±2,40	11,7±1,41
Длина траектории центра давления (% от длины стопы)		60,3±3,89	65,5±4,13	60,3±5,11	65,7±5,19
Средние значения локальной нагрузки в динамике (кг/см ²)					
В области	пятки	0,70±0,09	0,89±0,08	0,66±0,07	1,14±0,12
	продольного свода	0,19±0,06	0,38±0,04	0,16±0,03	0,22±0,08
	плюсневых костей	1,14±0,11	1,40±0,09	0,92±0,09	0,92±0,08
	пальцев	0,6±0,03	0,88±0,07	0,40±0,04	0,70±0,07
Примечание: в скобках указан % относительно показателя «длительность цикла шага».					

Таблица 3

Средняя нагрузка (кг/см²) на отделы стопы в статике ($M \pm m$)

Отделы стопы		Борцы	Легкоатлеты
Область	пятки	0,73 ± 0,11	0,52 ± 0,009
	продольного свода	0,18 ± 0,009	0,10 ± 0,009
	плюсневых костей	0,62 ± 0,09	0,80 ± 0,12
	пальцев	0,10 ± 0,008	0,28 ± 0,011

Таблица 4

Расчетные показатели графиков суммарной нагрузки на правую и левую стопы при ходьбе в произвольном темпе ($M \pm m$)

Сторона	Передний толчок (%)	Демпф. провал (%)	Задний толчок (%)	Время регистрации переднего толчка (с)	Время регистрации демпферн. провала (с)	Время регистрации заднего толчка (с)
Правая	50,1±3,1	42,75±1,71	72,3±4,7	0,067±0,009	0,15±0,022	0,28±0,024
Левая	52,1±5,9	43,8±2,63	74,1±6,6	0,067±0,009	0,16±0,023	0,28±0,019
Коэффициент асимметрии	3,8±1,1%	2,5±0,9%	2,4±0,75%	0	6,2±0,33%	0

При ходьбе в произвольном темпе (в среднем 3,5 км/час) длительность цикла шага составила у спортсменов в среднем $0,64 \pm 0,03$ сек. При этом период переката через стопу равен $56 \pm 1,5\%$ длительности цикла шага, а период переноса – $43 \pm 2,0\%$, и их длительность не зависела от вида спортивной специализации (таблица 2).

Средняя нагрузка на стопу у легкоатлетов составила $0,52 \pm 0,011$ кг/см², а у борцов – $0,42 \pm 0,016$ кг/см². В положении стоя у борцов величина среднего функционального нагружения заднего отдела стопы относительно переднего больше на 17%, а у легкоатлетов – наоборот, преобладала величина среднего функционального нагружения переднего отдела стопы относительно заднего на 53% (таблица 3). При ходьбе, наоборот, у борцов прирост нагрузки на передний отдел стопы составил 80–125%, на задний – 5–20%; а у легкоатлетов, соответственно, – 15–25% и 60–120%. В статике коэффициент асимметрии нагружения правой и левой стопы для борцов равен $18,0 \pm 3,5\%$ с преобладанием на правую стопу, для легкоатлетов – $40,1 \pm 5,3\%$ с преобладанием на левую стопу. При ходьбе его значения значительно уменьшаются, не имеют достоверных различий в группах спортсменов и составляют, соответственно, $2,6 \pm 0,35\%$ и $3,8 \pm 0,5\%$. При увеличении темпа ходьбы коэффициент асимметрии нагружения стоп уменьшается (таблица 4). Прирост скорости ходьбы на 30% в тестах с произвольным и ускоренным темпом ходьбы у спортсменов не выявил достоверных изменений относительных показателей (% от длительности цикла шага) продолжительности фаз шага. Имеет место прирост величины заднего толчка в среднем на 16% у борцов и на 25% у легкоатлетов в сочетании со снижением главного минимума нагрузки на 16% и 19%, соответственно. Уменьшается вариабельность траектории центра давления, более выраженная у легкоатлетов, что свидетельствует об увеличении коэффициента ритмичности ходьбы.

Сравнивая показатели ходьбы, можно заметить относительно большую нагрузку на левую конечность, которая у спортсменов чаще бывает толчковой. При этом коэффициент асимметрии показателей переднего и заднего толчка не превышает 5%. По данным А.С. Витензона [4], физиологическая асимметрия показателей составляет при медленном темпе ходьбы до 10%, при быстром – до 2%.

Кроме того, у легкоатлетов по мере роста спортивной квалификации также снижалась величина силы заднего толчка при ходьбе в привычном темпе. Причину выявленного явления авторы видят в изменении структуры двигательного акта, в более экономном, «округлом», мягком движении за счет использования сил инерции частей тела.

Борьба относится к нестандартным ациклическим движениям переменной интенсивности. Для нее характерны напряженные статические и динамические усилия. В борьбе большое значение придается силе мышц.

Выводы

- Спортсмены, занимающиеся борьбой, при равных с легкоатлетами размерах тела (рост, вес) имеют более высокие показатели силы мышц бедра (на 22%) и мышц голени (на 45%). При этом у них сравнительно более развиты антигравитационные группы мышц бедра и голени.
- В статике у борцов преобладала величина среднего функционального нагружения заднего отдела стопы относительно переднего на 17%, а у легкоатлетов – наоборот, преобладала величина среднего функционального нагружения переднего отдела стопы относительно заднего на 53%. При ходьбе, наоборот, у борцов преобладает прирост заднего толчка (нагрузки на передний отдел стопы), а у легкоатлетов – прирост переднего толчка (задний отдел стопы).

Список литературы

1. Белецкий, В.В. Управление ходьбой и динамика двуногих систем / В.В. Белецкий Т.С. Кирсанова, П.С. Чудинов // Биомеханика. – 1975. – С. 627–631.
2. Бернштейн, Н.А. Исследование по биомеханике локомоций / Н.А. Бернштейн. – М.–Л., 1935.
3. Витензон, А.С. Руководство по применению метода искусственной коррекции ходьбы и ритмических движений посредством программируемой электростимуляции мышц / А.С. Витензон, К.А. Петрушанская, Д.В. Скворцов. – М.: Научно–медицинская фирма МБН, 2005.
4. Витензон, А.С. Закономерности нормальной и патологической ходьбы человека / А.С. Витензон. – М.: ООО «Зеркало–М», 1998.
5. Дубровский, В.И. Биомеханика / В.И. Дубровский, В.Н. Федорова. – М.: Изд-во ВЛАДОС–ПРЕСС, 2003.
6. Филатов, В.И. Клиническая биомеханика / В.И. Филатов. – М.: Медицина, 1980.
7. Щуров, В.А. Патент 35703 РФ, МПК⁷ А 61 В17/56. Устройство для определения силы мышц бедра / В.А. Щуров, Д.В. Долганов, Т.И. Долганова, И.А. Атманский, РНЦ «ВТО» им.акад. Г.А.Илизарова (РФ) – №2003118782/20. Заявл. 23.06.2003. Оpubл. 10.02.2004. Бюл. 4.
8. Щуров, В.А. Патент 2029536 РФ МКИ⁶ А 61 Н 1/100. Устройство для ангулодинамометрии / В.А. Щуров. – № 5042260/14. Заявл. 15.05.92. Оpubл. 27.02.95. Бюл. 6.
9. Щуров, В.А. Диаметр подколенной артерии и сократительная способность мышц голени / В.А. Щуров, Е.Н. Щурова, Т.И. Менщикова и др. // Гений ортопедии. – 2001. – № 4. – С. 30–35.
10. Щуров, В.А. Метод исследования биомеханических свойств мягких тканей опорной поверхности стопы / В.А. Щуров // Ортопедическая травматология. – 1986. – № 3. – С. 32–34.
11. Inman, V.T. Human Walking / V.T. Inman., H.J. Ralston, F. Todd. – Williams&Willkins, 1981.

THE FEATURES OF WALKING BIOMECHANICAL PARAMETERS IN SPORTSMEN OF DIFFERENT SPECIALIZATIONS

V.I. Shevtsov, V.A. Shchurov, T.I. Dolganova, N.I. Butorina, I.V. Shchurov
(Kurgan, Russia)

Determination of the maximum moment of the femur and leg muscle strength (the stands were constructed at Federal State Science Institution “Russian Ilizarov Scientific Center «Restorative Traumatology and Orthopaedics»”) and the measurements of static and dynamic weight-bearing functions of the lower limbs have been determined to reveal the effects of track-and-field athletics and wrestling trainings on both static and dynamic weight-bearing functions of the lower limbs in sportsmen of different qualifications using “DiaSled-Scan” hardware-and-software complex (St. Petersburg). It has been revealed that sportsmen, who train themselves in wrestling and have the same body dimensions as track-and-field athletes, have 22% higher measurements of muscle strength in the femur and 45% higher those in the leg. Statically, in wrestlers the value of the mean functional loading of the hindfoot 17% predominated over that of the forefoot, and in track-and-field athletes the value of the mean functional loading of the forefoot 53% predominated over that of the hindfoot. And in walking, on the contrary, in wrestlers loading increment of the forefoot is dominant, and in track-and-field athletes – that of the hindfoot.

Key words: dynamometry, podography, wrestling, track-and-field athletics, qualification of sportsmen.

Получено 28 апреля 2007