

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2020.4.4>

УДК 612.766

Тип статьи: Оригинальное исследование / Original article



Биомеханические характеристики плюсневой части стопы пловцов при ходьбе

Р. Васильев, И. А. Васильева, Р. А. Якупов, Р. Ф. Асманов*

ФГБОУ ВО «Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма», Казань, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: изучение характера распределения давления под стопой при ходьбе у пловцов различного возраста и стажа занятий плаванием. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие пловцы возрастом $11,4 \pm 1,9$ года, обою пола, со стажем тренировочных занятий не менее 4 лет ($n = 23$) и мастера спорта по плаванию возрастом $19,3 \pm 1,5$ года со стажем занятий $12,2 \pm 1,3$ года ($n = 23$). В исследовании использовалась подометрическая платформа footscan® фирмы RSscan. Регистрировались кинематические и динамические параметры давления под стопой при естественной ходьбе. Основное внимание уделено показателям контакта с опорой в зонах плюсневой части стопы. Учитывалось пиковое значение давления в каждой плюсневой зоне и время его достижения. **Результаты.** В ходе исследования выявлен порядок проявления максимальных значений давления под плюсневыми зонами, который определяется последовательностью: пятая, четвертая, первая, третья и вторая плюсневая зона. Выяснилось, что у спортсменов младшего возраста поперечный свод стопы при ходьбе претерпевает относительно большую нагрузку, чем у старших. При возрастном отличии профиля загруженности плюсневых зон отмечены относительно высокие значения в зонах второй и третьей плюсны в обеих группах. **Заключение:** стопа пловца испытывает значимую профессиональную трансформацию, связанную со специфической спортивной деятельностью, что диктует необходимость внедрения в спортивную подготовку определенных профилактических и корригирующих мероприятий.

Ключевые слова: стопа, ходьба, нагрузка, плюсневые зоны, пловцы

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Васильев Р., Васильева И.А., Якупов Р.А., Асманов Р.Ф. Биомеханические характеристики плюсневой части стопы пловцов при ходьбе. *Спортивная медицина: наука и практика.* 2020;10(4):76–84. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2020.4.4>

Поступила в редакцию: 07.12.2020

Принята к публикации: 25.12.2020

Online first: 27.01.2020

Опубликована: 11.03.2021

* Автор, ответственный за переписку

Biomechanical characteristics of the metatarsal part of the foot in swimmers in walking

Radivoj Vasiljev, Irina A. Vasiljeva, Radik A. Yakupov, Rustam F. Asmanov*

Volga Region State Academy of Physical Culture, Sport and Tourism, Kazan, Russia

ABSTRACT

Objective: to investigate the characteristics of the distribution of pressure under the foot during walking in swimmers of various ages and experience. **Materials and methods.** The study involved swimmers aged 11.4 ± 1.9 years, of both sexes, with at least 4 years of training experience ($n = 23$) and masters of sports in swimming, 19.3 ± 1.5 years old with 12.2 ± 1.3 years of experience ($n = 23$). The study used a podometric footscan® platform from RSscan company. Kinematic and dynamic parameters of pressure under the foot during natural walking were recorded. The focus was on the indicators of contact with the support in the zones of the metatarsal part of the foot. The peak pressure value in each metatarsal zone and the time to reach it were taken into account. **Results.** In the course of the study, the order in which the maximum pressure under the metatarsal zones manifests was understood, which appeared in a sequence: fifth, fourth, first, third and second metatarsal zones. It was found that in young athletes the transverse arch of the foot during walking undergoes a relatively greater load than in older athletes. Moreover, relatively high values were noted in the zones of the second and third metatarsals in both age groups. **Conclusions:** the swimmer's foot experiences a significant professional transformation associated with specific sports activities, which dictates the need to introduce certain preventive and corrective measures into sports training.

Keywords: foot, gait, load, metatarsal zones, swimmers

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Vasiljev R., Vasiljeva I.A., Yakupov R.A., Asmanov R.F. Biomechanical characteristics of the metatarsal part of the foot in swimmers in walking. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2020;10(4):76–84 (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2020.4.4>

Received: 7 December 2020

Accepted: 25 December 2020

Online first: 27 January 2021

Published: 11 March 2021

* Corresponding author

1. Введение

При нахождении тела человека в водной среде отмечается снижение осевой нагрузки на опорно-двигательный аппарат [1], уменьшение массы тела и, как следствие, снижение мышечной активности нижних конечностей [2]. Техника выполнения плавательных движений ногами, независимо от используемого стиля, состоит в основном из внутреннего вращения, подошвенного сгибания голеностопного сустава и инверсии, в то время как колени остаются в легком сгибании. Этот тип движений вызывает мышечную слабость в голеностопном суставе и способствует пронации стопы [3]. Такой вид спорта, как плавание, обеспечивает мало дополнительных остеогенных стимулов сверх тех, которые получены главным образом от деформации кручения, оказываемой на кости под влиянием мышечных сокращений [4, 5].

При ходьбе для нижней конечности важно распределять и рассеивать компрессионные, растягивающие, сдвигающие и вращающие силы во время фазы опоры. Неадекватное распределение этих сил может вызвать повышенный стресс и риск разрушения соединительной и мышечной ткани [6]. Обнаружено, что у детей в раннем возрасте влияние физической нагрузки отражается на изменении параметров давления под стопой. Физически менее активные дети генерируют более высокое подошвенное давление в определенных областях стопы, в частности под 2–5-м пальцами, и если оно чрезмерно, может являться препятствием к их желанию участвовать в физической активности [7].

Чрезмерная нагрузка на ноги считается фактором, способствующим усталостным переломам костей плюсневой кости, что естественным образом может ограничить тренировочную способность человека и достижение им высоких спортивных результатов [8, 9]. Предполагается, что физиологическая усталость при напряженных или повторяющихся упражнениях снижает скорость и силу сокращения подошвенных сгибателей, увеличивая тем самым напряжение плюсневой кости в цикле ходьбы, и этот механизм является основной причиной стрессовых переломов этих костей [8]. Эффективное взаимодействие мышц, костей, связок и нормальной биомеханики стопы будет выражаться в снижении нагрузки на нижнюю конечность [6].

Характер и интенсивность воздействия нагрузки на стопу отражается в специфике распределения давления под стопой спортсменов, и от нее требуется прикладывать силу к опоре во время выполнения таких

спортивных задач, как бег и прыжки [10]. Известно, что на область стопы приходится примерно 15 % травм нижних конечностей баскетболистов [11]. У игроков настольного тенниса при выполнении шага в сторону и перекрестного шага отмечается значительное пиковое давление в плюсневой зоне: в зоне большого пальца, 1-й, 2-й и 5-й плюсневой кости [9]. У атлетов после 25-километровой тренировочной беговой нагрузки значительно снижается нагрузка под пальцами (до 30 %) и в средней части стопы (до 14 %), но существенно увеличивается нагрузка под центральной передней частью стопы (до 14 %) [12].

Исследование влияния тренировочных нагрузок на стопу пловца показало, что после плавательной тренировки площадь взаимодействия стопы с опорой в положении стоя значительно увеличивается, при этом давление под плюсневой зоной также увеличивается [13]. Выявлено, что для пловцов характерно демонстрировать низкий свод стопы, при этом индекс свода стопы значительно отличается у спортсменов различной специализации [14].

Цель исследования. Целью нашего исследования являлось изучение характера распределения давления под стопой при ходьбе у пловцов различного возраста и стажа занятий плаванием. В частности, наше внимание было уделено плюсневой зоне спортсменов.

2. Материал и методы

В исследовании приняли участие пловцы в возрасте $11,4 \pm 1,9$ года, 2-го разряда (младшая группа — МГ), со стажем тренировочных занятий не менее 4 лет ($n = 23$), и мастера спорта по плаванию в возрасте $19,3 \pm 1,5$ года (старшая группа — СГ), со стажем занятий плаванием $12,2 \pm 1,3$ года ($n = 23$).

В исследовании использовалась подометрическая платформа footscan® фирмы RSscan, площадью $418 \times 578 \times 12$ мм, собственной рабочей частотой 300 Гц (4096 резистентных датчиков, размером $7,62 \times 5,08$ мм, разрешением 10 бит, давление в диапазоне 1–127 Н/см²). Регистрировались кинематические и динамические параметры давления под стопой при естественной ходьбе.

Эксперимент проводился на базе Учебно-научного центра подготовки спортивного резерва Поволжской государственной академии физической культуры, спорта и туризма, г. Казань. Спортсмены выполняли ходьбу босиком по дорожке, наступая на вмонтированную в нее подометрическую платформу. Испытуемые выполняли поочередные шаги, наступая на платформу правой,

а затем левой ногой. Перед тестированием спортсменам давалась возможность несколько раз пройти по дорожке и подобрать оптимальное расстояние для шага по платформе. Для получения более точной картины нагрузки при выполнении шагающих движений мы руководствовались рекомендациями J.M.A. Melvin [15] и регистрировали не менее 30 шагов каждой ногой. Пример регистрации контакта с платформой представлен на рисунке 1.

Под стопой регистрировалась нагрузка в различных зонах. Наше внимание было сосредоточено

на показателях контакта с подометрической платформой в зонах плюсневой части стопы: первая — M1, вторая — M2, третья — M3, четвертая — M4 и пятая — M5. При анализе данных учитывалось пиковое значение давления в каждой плюсневой зоне и время его достижения.

На рисунке 2 в виде прямоугольников представлены места регистрации максимальных значений в каждой из плюсневых зон стопы. Диаграмма в правой части рисунка отображает прирост силы давления с момента контакта стопы в определенной зоне, ее рост и убывание.

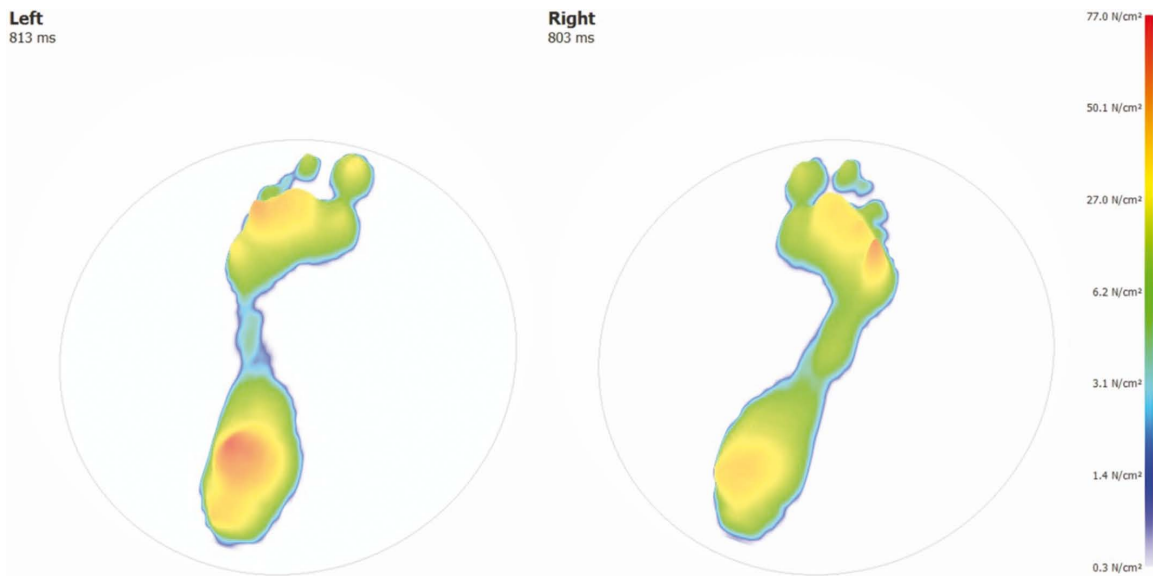


Рис. 1. Пример 3D-распределения нагрузок под стопой при ходьбе
Fig. 1. Example of 3D load distribution under the foot when walking

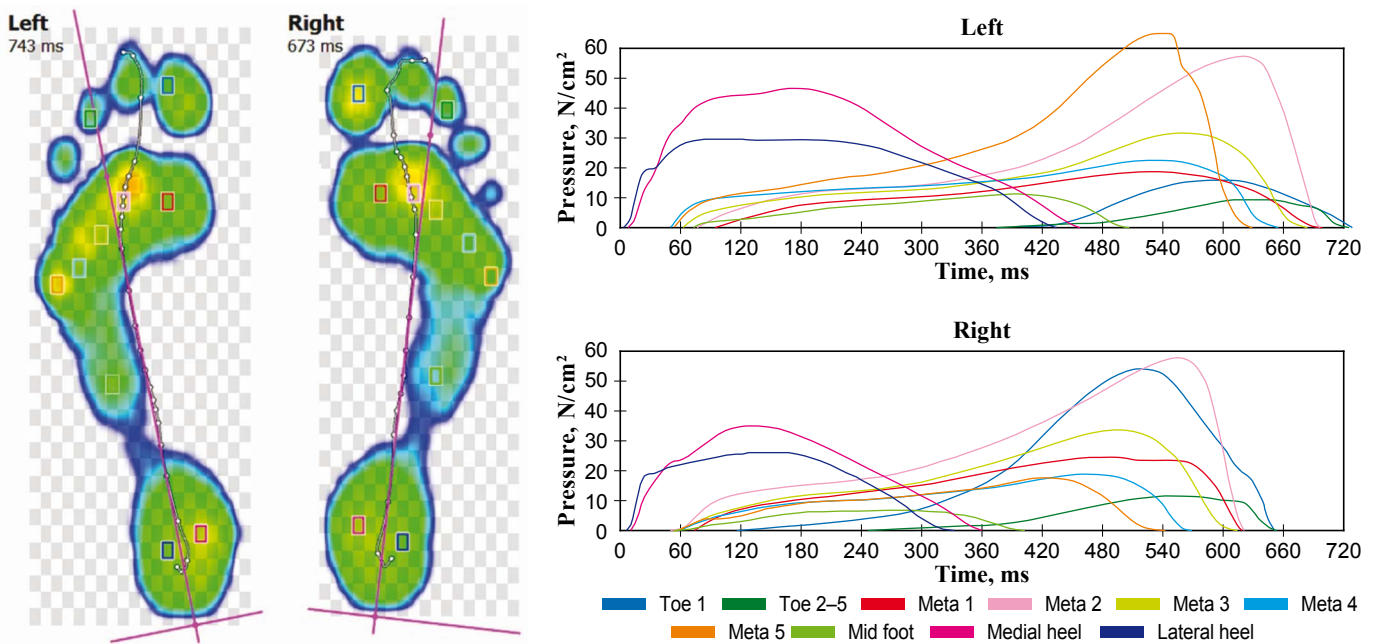


Рис. 2. Распределение нагрузки по зонам под стопой
Fig. 2. Load distribution by zones under the foot

При анализе результатов рассматривали как абсолютные, так и относительные параметры загруженности стопы с учетом веса испытуемых. При оценке результатов исследования использовались стандартная статистическая обработка, корреляционный и двухфакторный дисперсионный анализ, модель которого учитывал влияние принадлежности к группе и полу спортсменов. Перед выполнением дисперсионного анализа проводилась проверка результатов на нормальность распределения по критериям Колмогорова — Смирнова и Шапиро — Уилка, а также критерии асимметрии и эксцесса.

3. Результаты исследования и их обсуждение

Объединенный статистический анализ пловцов в обеих группах ($n = 46$) показал, что распределение нагрузки между зонами стопы достоверно отличается и оно больше всего расположено в зонах М2 и М3 соответственно, во второй и третьей плюсневых зонах стопы. Зоны М1, М4 и М5 между собой по параметрам нагрузки значимо не отличаются, но по силе давления по отношению к плюсам М2 и М3 они статистически достоверно уступают ($p < 0,01$). Самая большая нагрузка при ходьбе оказалась под второй плюсной, и по сравнению с третьей ее значения значимо выше ($p < 0,01$).

Рассматривая временные показатели проявления нагрузки под стопой в ходьбе, установили, что существует определенная ее последовательность, которая начинает свой путь с латеральной стороны М5, переходит на М4, далее М1, затем на М3 и завершается в зоне М2 (указано стрелками на рисунке 3).

В таблице 1 отображены результаты загруженности стопы пловцов обеих групп по плюсневым зонам. Статистический анализ показал, что между пловцами МГ и СГ существуют статистически значимые отличия по абсолютным значениям давления только в зонах М1 (* $F = 5,64, p < 0,021$) и М2 (* $F = 6,33, p < 0,015$).

Замечено, что у СГ в зоне М2 давление имеет большие значения по сравнению с МГ, но, с другой стороны, нагрузка в зоне М1 у МГ больше, чем у СГ.

Рассматривая загруженность плюсневых костей по максимальным значениям приложенной силы на площадь, находим, что между группами существует значимые отличия в порядке степени нагрузки плюсневых зон. В СГ максимальные значения давления идут в следующем порядке, по убыванию — М2:М3:М5:М1:М4. В МГ — М2:М3:М1:М4:М5. Как мы видим, большая степень загруженности в обеих группах принадлежит

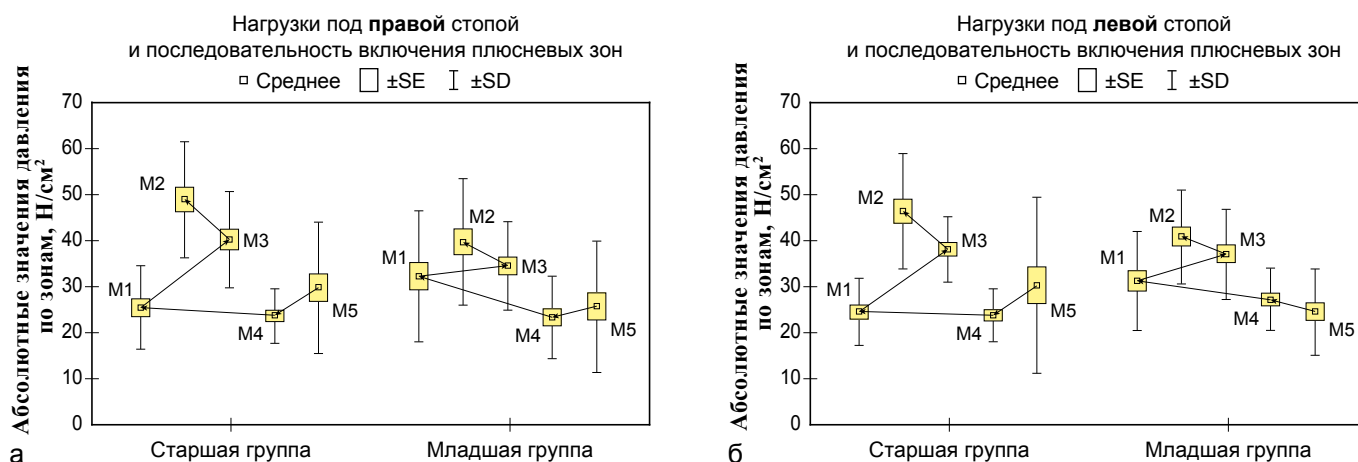


Рис. 3. Последовательность включения зон расположения плюсневых костей при ходьбе под правой и левой стопами
Fig. 3. The inclusion sequence of the zones of the metatarsal bones when walking under the right foot and under the left foot

Таблица 1

Абсолютные значения распределения нагрузки под стопой в плюсневых зонах

Table 1

Absolute values of the load distribution under the foot in the metatarsal zones

		M1 ($X \pm \sigma$)	M2 ($X \pm \sigma$)	M3 ($X \pm \sigma$)	M4 ($X \pm \sigma$)	M5 ($X \pm \sigma$)
СГ / Senior group	Левая (Н/см ²) / Left (N/cm ²)	24,6 ± 7,2	46,4 ± 12,5**	38,2 ± 7,1	23,8 ± 5,7	30,4 ± 19,1
	Правая (Н/см ²) / Right (N/cm ²)	25,5 ± 9,1	48,8 ± 12,8**	40,3 ± 10,4	23,8 ± 6,0	29,9 ± 14,3
МГ / Younger group	Левая (Н/см ²) / Left (N/cm ²)	31,3 ± 10,7*	40,9 ± 10,2	37,1 ± 9,8	27,3 ± 6,8	24,6 ± 9,3
	Правая (Н/см ²) / Right (N/cm ²)	32,3 ± 14,2*	39,8 ± 13,8	34,6 ± 9,5	23,4 ± 8,9	25,8 ± 14,2

Достоверное отличие: * $p < 0,021$; ** $p < 0,015$.

Significant difference: * $p < 0,021$; ** $p < 0,015$.

2-й и 3-й плюсневых зонам, но далее в СГ зона М5 больше нагружена, чем зоны М1 и М4, а в МГ нагрузка в зоне М1 больше, чем М4 и М5 (рис. 3а и б).

Однофакторный дисперсионный анализ абсолютных значений между полами обеих групп не показал статистически значимых различий. При проведении двухфакторного анализа (влияние пола и возраста) также не обнаружилось статистически значимое отличие. Анализируя относительные значения показателей у девушек и юношей обеих групп, выяснили, что они имеют значимый характер отличия в зоне М2 обеих стоп (левая $p < 0,048$, правая $p < 0,01$, табл. 2, рис. 4). В зоне М1 значимые различия обнаружены только под правой ногой ($p < 0,047$). Вполне возможно, данные отличия можно объяснить анатомо-морфологическими особенностями

стопы. Известно, что стопа у женской популяции эластичней, относительно уже, а подъем выше по отношению к мужской стопе [16].

При сравнении относительных значений давления под стопой между группами обнаружались достоверные различия во всех плюсневых зонах стопы (табл. 3). На рисунке 5 представлены показатели давления под правой и левой стопой в каждой группе и значения их статистического отклонения. Большой разброс — дисперсию полученных данных — можно объяснить возрастным диапазоном испытуемых в исследуемых группах.

Рассматривая характер распределения давления под стопой в младшей группе, можно заметить отдельное группирование значений давления в плюсневых зонах медиальной (М1:М2:М3) и латеральной части

Таблица 2

Результаты сравнения по половому признаку

Table 2

Comparison results by gender

		M1	M2	M3	M4	M5
Девушки / Юноши Girls / Young men	Левая / Left	-	$p < 0,048$	-	-	-
	Правая / Right	$p < 0,047$	$p < 0,01$	-	-	-

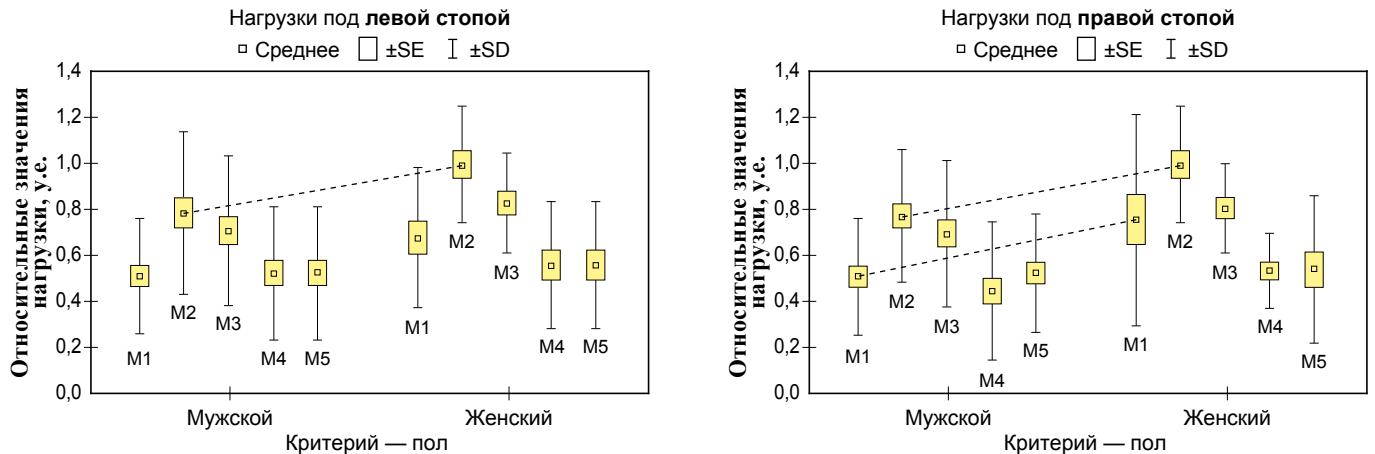


Рис. 4. Результаты сравнения по половому признаку относительно веса загрузки плюсневых костей при ходьбе (линии на рисунке обозначают контакт между зонами, и они статистически значимо отличаются)

Fig. 4. Comparison results by gender in relation to the weight of the metatarsal bones load when walking (the lines indicate the contact between the zones, and they are statistically significantly different)

Таблица 3

Уровень значимости различий между группами при сравнении относительных значений давления под стопой

Table 3

Significance level of differences between groups when comparing relative values of pressure under the foot

		M1	M2	M3	M4	M5
СГ/ МГ Senior group / Younger group	Левая / Left	$p < 0,000$	$p < 0,000$	$p < 0,000$	$p < 0,01$	$p < 0,01$
	Правая / Right	$p < 0,001$	$p < 0,002$	$p < 0,000$	$p < 0,000$	$p < 0,009$

(M4:M5) стопы, при этом медиальная сторона имеет большие значения, чем латеральная. В старшей же группе пловцов распределение давления имеет медиально-латеральный, стабильный характер. Необходимо отметить, что в СГ самое меньшее значение приходится на зону M1, тогда как для нормальной стопы из всех плюсневых зон именно зона первой плюсны должна иметь максимальное значение. Большие значения, обнаруженные в зонах M1:M2:M3 младшей группы, по отношению к старшей группе указывают на неоконченный процесс развития опорно-двигательного аппарата.

При группировании показателей по гендерному признаку было выявлено статистически значимое отличие между мальчиками МГ и юношами СГ (т.е. между пловцами с небольшим и большим стажем спортивных тренировок, с низким и высоким уровнем мастерства), и эти различия касались всех зон плюсневой части стопы (табл. 4). У спортсменок статистически значимые отличия загруженности проявили себя с большим запасом только в зонах M1 и M3, а также под правой стопой в M4.

На рисунке 6 отображены результаты двухфакторного дисперсионного анализа (пол — разряд), где можно заметить, что по отношению к другим исследуемым группам показатели нагрузки у юношей СГ имеют скудный характер и меньшие значения. Это может быть связано с более широкой стопой у представителей

старшей мужской популяции, более равномерным распределением нагрузки под стопой и небольшим размером стопы как у младшей группы, так и у девушек, у которых она в передней части уже [4].

Также можем отметить, что в СГ пловцы обоих полов в зоне M1 имеют нагрузку меньше, чем у мальчиков и девочек МГ. Дети младшей группы находятся в процессе интенсивного развития, и стопа находится в процессе формирования и роста. Кроме этого, специфика плавания требует дополнительного приспособления, адаптации стопы в процессе многолетней работы в условиях водной среды, что отражается в увеличении степени подвижности, распластанности переднего отдела стопы. Наряду с этим при ходьбе у детей с еще не оформленной стопой динамика загруженности зон стоп требует специфичной адаптации, что, скорее всего, приводит к модели старшей группы.

4. Выводы

1. В ходьбе при контакте плюсневой части стопы с опорой порядок проявления максимальных значений давления происходит в следующей последовательности: M5, M4, M1, M3 и M2.

2. При ходьбе поперечный свод у спортсменов младшего возраста претерпевает относительно большую нагрузку, чем у старших.

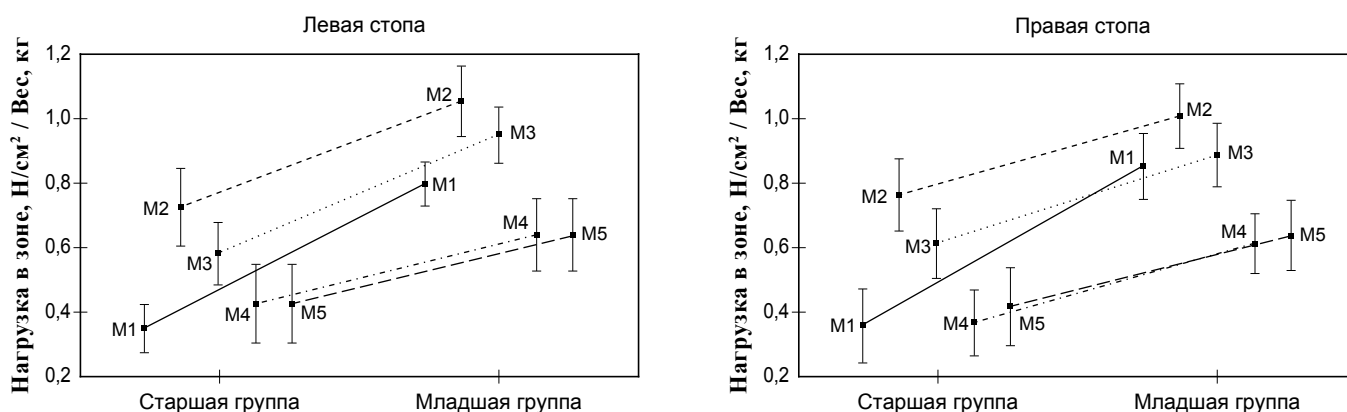


Рис. 5. Результаты сравнения по возрастному признаку относительно веса тела и загруженности плюсневых зон стопы при ходьбе

Fig. 5. Comparison results by age relative to body weight and metatarsal zones load when walking

Таблица 4

Уровень значимости различий между сравниваемыми группами по зонам. Критерий — спортивный разряд и пол

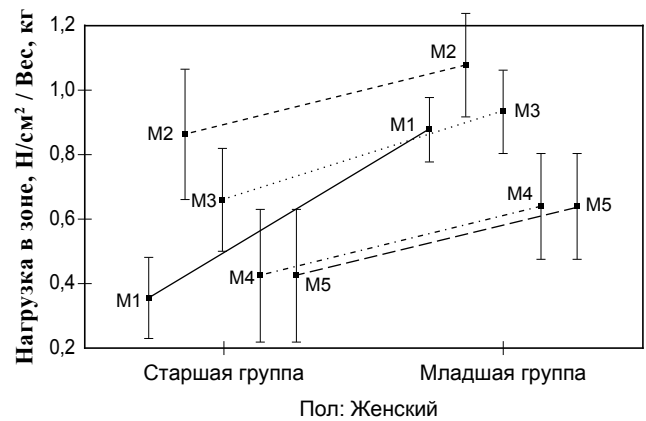
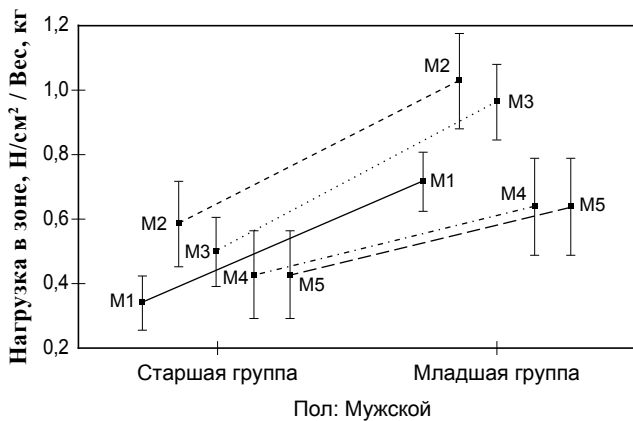
Table 4

The significance level of differences between groups by zone. The criterion is sports category and gender

		M1	M2	M3	M4	M5
Девушки МГ/СГ Girls Younger group / Senior group	Левая / Left	$p < 0,000$	-	$p < 0,005$	-	-
	Правая / Right	$p < 0,000$	-	$p < 0,0031$	$p < 0,008$	-
Юноши МГ/СГ Young men Younger group / Senior group	Левая / Left	$p < 0,0001$	$p < 0,0001$	$p < 0,0002$	$p < 0,048$	$p < 0,048$
	Правая / Right	$p < 0,0001$	$p < 0,001$	$p < 0,0015$	$p < 0,005$	$p < 0,026$

Двухфакторный дисперсионный анализ — ПОЛ * РАЗРЯД

Левая стопа



Двухфакторный дисперсионный анализ — ПОЛ * РАЗРЯД

Правая стопа

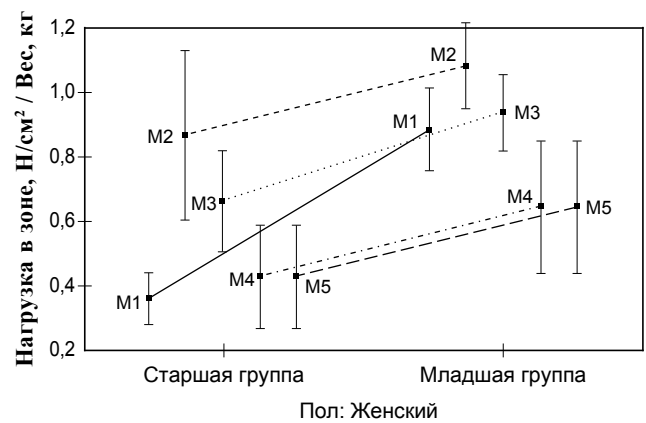
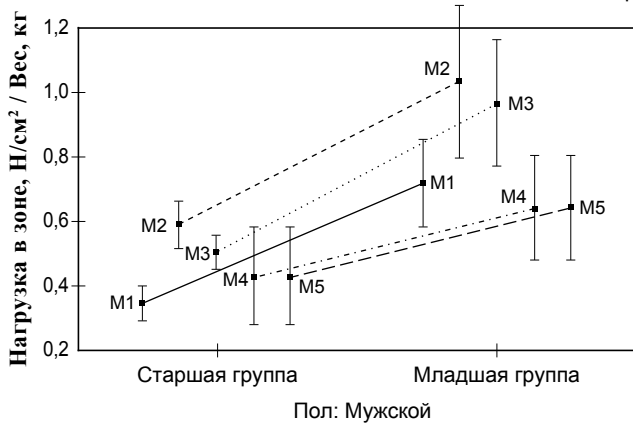


Рис. 6. Результаты сравнения по признаку «пол — возраст» относительно веса тела и загруженности плюсневых зон стопы при ходьбе
Fig. 6. Comparison results by gender-age relative to body weight and metatarsal zones load when walking

3. Степень загруженности зон плюсны имеет следующий ряд по убыванию: у группы мастеров — M2, M3, M5, M1, M4; в младшей группе пловцов — M2, M3, M1, M4, M5. Самые высокие значения находятся в зонах второй и третьей плюсны.

Таким образом, стопа пловцов испытывает значимую профессиональную трансформацию, связанную со специфической спортивной деятельностью, что диктует необходимость внедрения в спортивную подготовку определенных профилактических и корригирующих мероприятий. Это должны быть как комплексы специальных упражнений по укреплению свода стопы, внедренные в регулярный тренировочный процесс, так и индивидуальный подбор обуви и стелек. В особых

случаях коррекция должна включать и медико-биологические методы, направленные на улучшение работы опорно-двигательного аппарата и нервной системы спортсменов.

Необходимо учесть важность проведения подобных мероприятий на всех этапах спортивной подготовки, включая этап начальной подготовки, поскольку очевидные изменения стопы наблюдаются даже у юных спортсменов.

Также следует отметить, что эффективность указанных профилактических и корригирующих мероприятий должна обязательно отслеживаться путем организации мониторинга состояния стопы на основе использования современных подометрических платформ.

Вклад авторов:

Васильев Радивой — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста статьи, статистическая обработка данных, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Васильева Ирина Александровна — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста статьи.

Authors' contributions:

Radivoj Vasiljev — concept and design of the study, collection and processing of material, writing the article text, statistical data processing, editing, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Irina A. Vasiljeva — concept and design of the study, collection and processing of material, writing the article text.

Якупов Радик Альбертович — концепция и дизайн исследования, написание текста статьи.

Асманов Рустам Флюрович — обработка материала, написание текста статьи.

Все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

Список литературы

1. Fantozzi S., Cortesi M., Giovanardi A., Borra D., Di Michele R., Gatta G. Effect of walking speed during gait in water of healthy elderly. *Gait Posture*. 2020;82:6–13. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.08.112>
2. Liebenberg J., Scharf J., Forrest D., Dufek J.S., Masumoto K., Mercer J.A. Determination of muscle activity during running at reduced body weight. *J Sports Sci*. 2011;29(2):207–214. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.534806>
3. Aspenes S.T., Karlsen T. Exercise-training intervention studies in competitive swimming. *Sports Med*. 2012;42(6):527–543. <https://doi.org/10.2165/11630760-000000000-00000>
4. Rantalainen T., Nikander R., Heinonen A., Suominen H., Sievänen H. Direction-specific diaphyseal geometry and mineral mass distribution of tibia and fibula: A pQCT study of female athletes representing different exercise loading types. *Calcif Tissue Int*. 2010;86(6):447–454. <https://doi.org/10.1007/s00223-010-9358-z>
5. Rector R.S., Rogers R., Ruebel M., Hinton P.S. Participation in road cycling vs running is associated with lower bone mineral density in men. *Metabolism*. 2008;57(2):226–232. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2007.09.005>
6. Wolf S.L., Donatelli R. *The Biomechanics of the foot and ankle*. 2nd ed. Philadelphia: F.A. Davis; 1995.
7. Mickle K., Cliff D., Steele J., Munro B., Okley A. Are plantar pressures related to the daily physical activity levels in pre-school children? *J Sci Sport*. 2005;8(1):177. [https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(17\)30800-9](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(17)30800-9)
8. Sharkey N., Ferris L., Smith T., Matthews D. Strain and loading of the second metatarsal during heel-lift. *J Bone Joint Surg Am*. 1995;77(7):1050–1057. <https://doi.org/10.2106/00004623-199507000-00011>
9. Wing-Kai Lam, Jia-Xing Fan, Yi Zheng, Winson Chiu-Chun Lee. Joint and plantar loading in table tennis topspin forehand with different footwork. *Eur J Sport Sci*. 2019;19(4):471–479. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1534993>
10. Wannop J.W., Stefanyshyn D.J., Anderson R., Coughlin M., Kent R. Development of a footwear sizing system in the National Football League. *Sports Health*. 2019;11(1):40–46. <https://doi.org/10.1177/1941738118789402>
11. Meeuwisse W.H., Sellmer R., Hagel B.E. Rates and Risks of Injury during Intercollegiate Basketball. *Am J Sports Med*. 2003;31(3):379–385. <https://doi.org/10.1177/03635465030310030901>
12. Rosenbaum D., Engl T., Nagel A. Effects of a fatiguing long-distance run on plantar loading during barefoot walking and shod running. *Footwear Science*. 2016;8(3):129–137. <https://doi.org/10.1080/19424280.2016.1157103>
13. Васильева И.А., Васильев Р., Смирнова Т.А. Влияние тренировочных занятий на биомеханические параметры вестибулярного аппарата пловцов. В: Научно-практические школы в сфере физической культуры и спорта: Материалы Международного научно-практического конгресса, посвященного 100-летию ГЦОЛИФК. М.: РГУФКСМиТ; 2018, с. 18–21.

Radik A. Yakupov — concept and design of the study, writing the article text.

Rustam F. Asmanov — processing of material, writing the article text.

All authors have read and agreed with the published version of the manuscript.

References

1. Fantozzi S., Cortesi M., Giovanardi A., Borra D., Di Michele R., Gatta G. Effect of walking speed during gait in water of healthy elderly. *Gait Posture*. 2020;82:6–13. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.08.112>
2. Liebenberg J., Scharf J., Forrest D., Dufek J.S., Masumoto K., Mercer J.A. Determination of muscle activity during running at reduced body weight. *J Sports Sci*. 2011;29(2):207–214. <https://doi.org/10.1080/02640414.2010.534806>
3. Aspenes S.T., Karlsen T. Exercise-training intervention studies in competitive swimming. *Sports Med*. 2012;42(6):527–543. <https://doi.org/10.2165/11630760-000000000-00000>
4. Rantalainen T., Nikander R., Heinonen A., Suominen H., Sievänen H. Direction-specific diaphyseal geometry and mineral mass distribution of tibia and fibula: A pQCT study of female athletes representing different exercise loading types. *Calcif Tissue Int*. 2010;86(6):447–454. <https://doi.org/10.1007/s00223-010-9358-z>
5. Rector R.S., Rogers R., Ruebel M., Hinton P.S. Participation in road cycling vs running is associated with lower bone mineral density in men. *Metabolism*. 2008;57(2):226–232. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2007.09.005>
6. Wolf S.L., Donatelli R. *The Biomechanics of the foot and ankle*. 2nd ed. Philadelphia: F.A. Davis; 1995.
7. Mickle K., Cliff D., Steele J., Munro B., Okley A. Are plantar pressures related to the daily physical activity levels in pre-school children? *J Sci Sport*. 2005;8(1):177. [https://doi.org/10.1016/S1440-2440\(17\)30800-9](https://doi.org/10.1016/S1440-2440(17)30800-9)
8. Sharkey N., Ferris L., Smith T., Matthews D. Strain and loading of the second metatarsal during heel-lift. *J Bone Joint Surg Am*. 1995;77(7):1050–1057. <https://doi.org/10.2106/00004623-199507000-00011>
9. Wing-Kai Lam, Jia-Xing Fan, Yi Zheng, Winson Chiu-Chun Lee. Joint and plantar loading in table tennis topspin forehand with different footwork. *Eur J Sport Sci*. 2019;19(4):471–479. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1534993>
10. Wannop J.W., Stefanyshyn D.J., Anderson R., Coughlin M., Kent R. Development of a footwear sizing system in the National Football League. *Sports Health*. 2019;11(1):40–46. <https://doi.org/10.1177/1941738118789402>
11. Meeuwisse W.H., Sellmer R., Hagel B.E. Rates and Risks of Injury during Intercollegiate Basketball. *Am J Sports Med*. 2003;31(3):379–385. <https://doi.org/10.1177/03635465030310030901>
12. Rosenbaum D., Engl T., Nagel A. Effects of a fatiguing long-distance run on plantar loading during barefoot walking and shod running. *Footwear Science*. 2016;8(3):129–137. <https://doi.org/10.1080/19424280.2016.1157103>
13. Vasil'eva I.A., Vasil'ev R., Smirnova T.A. The impact of training on biomechanical parameters of the vestibular apparatus of swimmers. In: Materials of the International Scientific and Practical Congress dedicated to the 100th anniversary of the SCOLPE. Moscow: SCOLPE; 2018, p. 18–21 (In Russ.).

14. Kobayashi T., Takabayashi T., Kudo S., Edama M. The prevalence of chronic ankle instability and its relationship to foot arch characteristics in female collegiate athletes. *Phys Ther Sport*. 2020;46:162–168. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2020.09.002>

15. Melvin J.M. A., Preece S., Nester C.J., Howard D. An investigation into plantar pressure measurement protocols for footwear research. *Gait Posture*. 2014;40(4):682–687. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.07.026>

16. Luo G., Houston V.L., Mussman M., Garbarini M., Beattie A.C., Thongpop C. Comparison of Male and Female Foot Shape. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2009;99(5):383–390. <https://doi.org/10.7547/0990383>

14. Kobayashi T., Takabayashi T., Kudo S., Edama M. The prevalence of chronic ankle instability and its relationship to foot arch characteristics in female collegiate athletes. *Phys Ther Sport*. 2020;46:162–168. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2020.09.002>

15. Melvin J.M. A., Preece S., Nester C.J., Howard D. An investigation into plantar pressure measurement protocols for footwear research. *Gait Posture*. 2014;40(4):682–687. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.07.026>

16. Luo G., Houston V.L., Mussman M., Garbarini M., Beattie A.C., Thongpop C. Comparison of Male and Female Foot Shape. *J Am Podiatr Med Assoc*. 2009;99(5):383–390. <https://doi.org/10.7547/0990383>

Информация об авторах:

Васильев Радивой* — к.пед.н., старший научный сотрудник Учебно-научного центра подготовки спортивного резерва ФГБОУ ВО «Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма», 420010, Россия, Казань, Деревня Универсиады, 35. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6563-0199> (+7 (927) 410-41-27; radivojv@gmail.com)

Васильева Ирина Александровна — к.пед.н., старший преподаватель кафедры плавания ФГБОУ ВО «Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма», 420010, Россия, Казань, Деревня Универсиады, 35. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2640-5818> (tisa@mail.ru)

Якупов Радик Альбертович — д.м.н., профессор, директор Учебно-научного центра технологий подготовки спортивного резерва ФГБОУ ВО «Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма», 420010, Россия, Казань, Деревня Универсиады, 35. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1579-5729> (r.a.yakupov@gmail.com)

Асманов Рустам Флюрович — спортивный врач Учебно-научного центра подготовки спортивного резерва ФГБОУ ВО «Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма», 420010, Россия, Казань, Деревня Универсиады, 35. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0058-0968> (asmanvrustam@mail.ru)

Information about the authors:

Radivoj Vasiljev* — Ph.D. (Biomechanics), Senior Researcher of the Educational and Scientific Center for the Training of Sports Reserve, Volga Region State Academy of Physical Culture, Sport and Tourism, 33, Universiade Village, Kazan, 420138, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6563-0199> (+7 (927) 410-41-27, radivojv@gmail.com)

Irina A. Vasiljeva — Ph.D. (Pedagogy), Senior teacher of the department of swimming, Volga Region State Academy of Physical Culture, Sport and Tourism, 33, Universiade Village, Kazan, 420138, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2640-5818> (tisa@mail.ru)

Radik A. Yakupov — M.D., Ph.D. (Medicine), Professor, Director of the Educational and Scientific Center for the Training of Sports Reserve, Volga Region State Academy of Physical Culture, Sport and Tourism, 33, Universiade Village, Kazan, 420138, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1579-5729> (r.a.yakupov@gmail.com)

Rustam F. Asmanov — sports doctor of the Educational and Scientific Center for the Training of Sports Reserve, Volga Region State Academy of Physical Culture, Sport and Tourism, 33, Universiade Village, Kazan, 420138, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0058-0968> (asmanvrustam@mail.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author