

УДК 796.856

**Симметрия стоп и давление под стопой
у высококвалифицированных тхэквондистов**

Салимова Анастасия Александровна

Болтиков Юрий Васильевич, кандидат педагогических наук, профессор

Коновалов Игорь Евгеньевич, доктор педагогических наук, профессор

Ахатов Азат Мунирович, кандидат педагогических наук, профессор

Земленухин Илья Андреевич, кандидат педагогических наук, доцент

Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, Казань

Аннотация. В статье представлено исследование по изучению распределения давления под стопами и их симметрии у высококвалифицированных тхэквондистов на подометрической платформе RSscan. Понимание, как правильно распределить давление на стопах и обеспечить симметрию движений, является ключевым фактором для успешного выполнения ударов и техник. Результаты исследования свидетельствуют о том, что пиковое давление левой и правой стоп не обладает симметрией, повышенное давление на стопы играет решающую роль в возникновении патологий стопы.

Ключевые слова: распределение давления, давление, динамика центра масс, баланс, тхэквондо.

**Symmetry of the feet and pressure under the foot
in highly qualified taekwondo practitioners**

Salimova Anastasia Alexandrovna

Boltikov Yuri Vasilyevich, candidate of pedagogical sciences, professor

Kononov Igor Evgenyevich, doctor of pedagogical sciences, professor

Akhatov Azat Munirovich, candidate of pedagogical sciences, professor

Zemlenukhin Ilya Andreevich, candidate of pedagogical sciences, associate professor

Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan

Abstract. The aim of the study was to investigate the distribution of pressure under the feet and their symmetry in highly qualified taekwondists on the RSscan podometric platform. Understanding how to properly distribute pressure under the feet and ensure symmetry of movement is key to successful execution of kicks and techniques. The results of the current study suggest that the peak pressure of the left and right foot lacks symmetry, increased foot pressure plays a crucial role in causing foot pathologies.

Keywords: pressure distribution, pressure, center of mass dynamics, balance, taekwondo.

ВВЕДЕНИЕ. Тхэквондо – это корейское традиционное боевое искусство, основанное на использовании ударов ногами. В процессе ударов одна нога выполняет функцию нанесения ударов, в то время как другая обеспечивает стабильность и контроль баланса. Многие исследователи согласны в том, что правая ступня ответственна за удары и манипулирование объектами, тогда как левая ступня обеспечивает стабильную опору [1, 2].

Изучение симметрии стоп и распределения давления под стопой имеет важное значение для понимания биомеханики ходьбы и обеспечения оптимального функционирования нижних конечностей. Исследования, проведенные в данной области, показывают, что асимметрия в структуре и функции стопы могут повлечь за собой дисбаланс в нагрузке на суставы, мышцы и связки, что имеет потенциальный риск развития болевых синдромов, деформаций стопы и других проблем [3].

Например, некоторые исследователи обнаружили, что неравномерное распределение давления под стопой может привести к увеличению нагрузки на определенные области стопы, что может способствовать развитию мозолей, ортопедических деформаций и чувства дискомфорта при ходьбе. Поэтому регулярная оцен-

ка стоп и давления под ними, а также выявление любых асимметрий или несбалансированных нагрузок могут помочь в установлении своевременного вмешательства и коррекции для предотвращения возможных осложнений и улучшения качества жизни [2].

Асимметрию здесь можно разделить на три типа: морфологическую, функциональную и динамическую. Морфологическая асимметрия – это различия в форме и структуре органов или тканей справа и слева у одного индивида. Например, асимметрия лица, длины конечностей или размера глаз. Функциональная асимметрия – тип асимметрии, связанный с различиями в функциональных способностях органов или тканей справа и слева. Это влечет различия в силе, гибкости, скорости и координации движений. Динамическая асимметрия – это асимметрия, которая проявляется во время выполнения движений или действий. Например, удары ногами в тхэквондо могут проявлять динамическую асимметрию в зависимости от того, какая нога используется для нанесения ударов, и какая обеспечивает стабильность и опору [4].

Анатомические зоны давления на стопе представляют собой области, которые испытывают повышенное давление и нагрузку при ходьбе и стоянии. Эти зоны могут быть особенно важны при проектировании ортопедической обуви для предотвращения развития ран, мозолей и других проблем со стопами. Основные анатомические зоны давления на стопы:

- медиальная пятка (HM): область на внутренней стороне пятки, ближе к оси тела;
- латеральная пятка (HL): область на внешней стороне пятки, дальше от оси тела;
- средняя часть стопы (MF): область в центре стопы, между пяточной и пальцевой областями;
- плюсневые области (M1-M5): пять областей на пяточной стороне стопы, начиная от самой внутренней (M1) и заканчивая самой внешней (M5);
- большой палец ноги (T1): область под большим пальцем ноги;
- остальные пальцы ног (T2-T5): области под оставшимися четырьмя пальцами ноги, начиная со второго и заканчивая пятым пальцами [1].

Для каждого вида ходьбы определяется общее время контакта стопы и пять временных характеристик переворачивания стопы: первый контакт стопы (FFC), первый плюсневой контакт (FMC), плоскостопие передней части стопы (FFF), отрыв пятки (HO) и последний контакт стопы (LFC). Временные характеристики контакта ног подразделяются на четыре фазы: фаза начального контакта (ICP; от FFC к FMC), фаза контакта передней части стопы (FFCP; от FMC до FFF), фаза плоскостопия стопы (FFP; от FFF до HO) и фаза отталкивания передней части стопы (FF POP; от HO в LFC).

Индекс симметрии для пикового давления рассчитывается в соответствии с формулой [5]:

$$\text{Индекс симметрии} = \frac{2 \times (\text{левая стопа} - \text{правая стопа})}{(\text{правая стопа} + \text{левая стопа})} \times 100$$

Этот индекс использовался для проверки степени асимметрии между левой и правой стопой по характеристикам подошвенного давления. Учитывая различия в характеристиках правой и левой ног, возможно предположить дифферен-

цию данных о распределении давления под стопами. Анализ симметрии давления под стопой предоставляет ценную информацию для программ реабилитации. Это помогает выявить дисбаланс нижних конечностей и поддержать стабильность осанки [3].

Таким образом, основными целями нашего исследования были сравнение различий в характеристиках давления под стопой между правой и левой стопой и изучение наличия асимметрии у высококвалифицированных тхэквондистов

ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ. В эксперименте приняли участие 10 спортсменок сборной команды по тхэквондо ВТФ (18-24 лет) весовой категории (53 кг, 57 кг, 62 кг) Поволжского ГУФКСИТ в период с сентября по декабрь 2023 года. Все спортсмены не однократно участвовали в соревнованиях по тхэквондо на всероссийском уровне. Испытуемых исключали из исследования, если у них в анамнезе были какие-либо заболевания и травмы нижних конечностей, которые могли повлиять на механику походки, на момент исследования или в предыдущие шесть месяцев. Для определения «бьющей», «ударной» ноги мы провели опрос, какой ногой они предпочитают наносить удар. От всех участников было получено информированное согласие.

Основным методом исследования стала компьютерная подометрия с использованием подометрической платформы RScan, которая была установлена на ровной поверхности, при этом обе стопы исследуемого могли удобно, свободно и естественно поместиться на ее поверхности. Платформа оснащена матрицей датчиков размером 128 x 64, общее количество датчиков составляет 8192 на большой платформе и 4096 на малой. Современные технологии и специализированные устройства, такие как датчики давления, использовали для сбора данных о нагрузке на стопу в реальном времени.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. В исследовании выявлены несущественные различия между левой и правой стопой в отношении относительных давлений-нагрузок (%) в статическом состоянии. Это означает, что спортсмены тхэквондо демонстрируют одинаковое распределение веса на обе ноги. Самые высокие значения PP были обнаружены под зонами M2, M3, M4 и HM, HL.

Пиковое давление (Н/см²): среднее пиковое давление на правой стопе в большинстве точек (за исключением точки M1) незначительно ниже, чем на левой стопе. В точке M3 пиковое давление на правой стопе (7,02 Н/см²) выше, чем на левой стопе (7,19 Н/см²) (табл. 1).

Абсолютный импульс (Н.с/см²): в большинстве точек абсолютный импульс близок на правой и левой стопах; наибольший разрыв между правой и левой стопами наблюдается в точке M2 (1,55 Н.с/см² для правой стопы и 1,42 Н.с/см² для левой стопы) и в точке M4 (1,62 Н.с/см² для правой стопы и 1,61 Н.с/см² для левой стопы).

Относительный импульс (%): для оценки существенных различий между левой и правой стопами в отношении относительных давлений-нагрузок (%) важно определить статистически значимые различия (когда $p < 0,05$); из таблицы видно, что статистически значимые различия в относительных импульсах (%) между левой и правой стопой наблюдаются в следующих временных точках: в зоне M2: относительный импульс для правой стопы – 17,58%, а для левой – 14,46% ($p < 0,05$); в зоне M3: относительный импульс для правой стопы – 22,71%, а для левой –

19,38% ($p<0,05$); в зоне HL: относительный импульс для правой стопы – 11,52%, а для левой – 11,68% ($p<0,05$).

Таблица 1 – Пиковое давление, абсолютные импульсы (интегралы давления по времени) и относительные импульсы (в процентах от суммарных импульсов) левой и правой ног

	Пиковое давление (Н/см2)		Абсолютный импульс (Н.с/см2)		Относительный импульс (%)	
	Правая стопа	Левая стопа	Правая стопа	Левая стопа	Правая стопа	Левая стопа
T1	3,15 (0,99)	3,06 (0,94)	0,60 (0,30)	0,50 (0,22)	6,81 (3,56)	5,18 (2,5)
T2-5	1,00 (0,65)	1,02 (0,70)	0,15 (0,14)	0,14 (0,14)	1,84 (1,71)	1,46 (1,35)
M1	2,68 (1,77)	3,40 (1,42)	0,70 (0,47)	0,79 (0,43)	7,81 (4,39)	8,37 (4,71)
M2	5,72 (1,29)	5,58 (1,06)	1,55 (0,34)	1,42 (0,25)*	17,58 (2,77)	14,46 (2,05)
M3	7,02 (1,87)	7,19 (1,63)	2,03 (0,61)	1,95 (0,56)	22,71 (4,82)	19,38(3,32)*
M4	5,33 (2,09)	5,75 (2,34)	1,62 (0,86)	1,61 (0,75)	17,84 (7,34)	15,59 (5,70)
M5	2,50 (1,05)	2,82 (1,36)	0,70 (0,38)	0,69 (0,31)	7,84 (3,60)	6,78 (2,55)
M5	2,50 (1,05)	2,82 (1,36)	0,70 (0,38)	0,69 (0,31)	7,84 (3,60)	6,78 (2,55)
NM	5,57 (0,90)	5,89 (0,90)	1,10 (0,29)	1,27 (0,27) *	12,47 (2,18)	13,03 (3,06)
HL	5,16 (1,00)	5,18 (0,81)	1,03 (0,30)	1,15 (0,25)*	11,52 (2,22)	11,68 (1,98)

Представленные данные представляют собой средние значения (SD) * $p<0,05$.

На основании статистической значимости различий мы видим, что в зонах M2 и M3 относительные давления-нагрузки (%) значимо различаются между левой и правой стопой, причем давление на правой стопе оказывается выше, чем на левой. В зоне HL также отмечается статистически значимое различие, где давление на левой стопе немного выше, чем на правой.

Из анализа данных по каждому столбцу следует, что относительные значения (абсолютные импульсы и относительные импульсы) могут отличаться между правой и левой стопами в некоторых точках, что может свидетельствовать о различиях в нагрузке между стопами у испытуемых. Рисунок 1 демонстрирует высокую схожесть фаз контакта стопы с подометрической платформой во время ходьбы для правой и левой стоп. Однако есть несколько существенных различий.

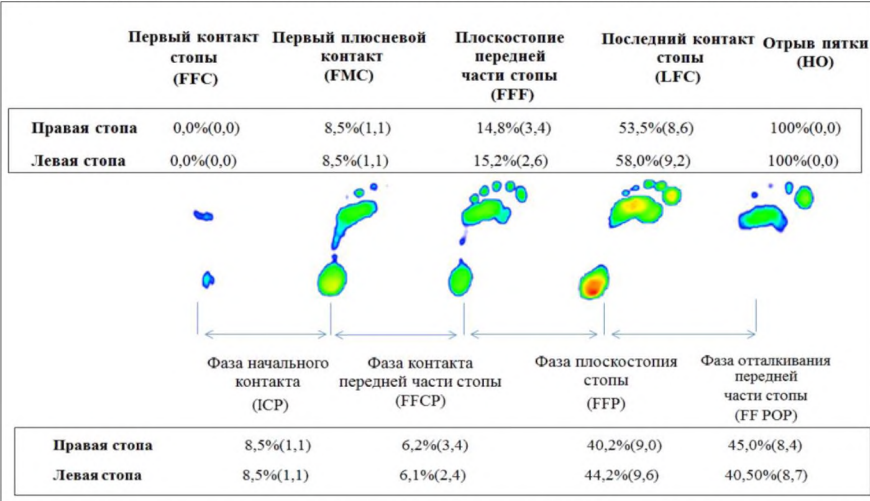


Рисунок 1 – Контакт стоп с подометрической платформой RSscan во время ходьбы

Фаза отталкивания передней части стопы (FFPOP): процент времени контакта значительно меньше для левой стопы (40,5%) по сравнению с правой стопой (45,0%). Это означает, что левая стопа проводит меньше времени в фазе отталкивания, что может указывать на более слабую отталкивающую силу в левой ноге.

Фаза плоскостопия передней части стопы (FFF): процент времени контакта немного длиннее для левой стопы (15,2%) по сравнению с правой стопой (14,8%). Это означает, что левая стопа проводит больше времени в фазе плоскостопия, что может указывать на более плоскую арку стопы или более слабые мышцы стопы.

Эти различия могут быть связаны с индивидуальными вариациями в походке или с тем, что человек является левшой или правшой. Однако они также могут указывать на потенциальные проблемы с опорно-двигательным аппаратом, такие как слабость мышц стопы или голени или дисбаланс в силе между правой и левой ногами.

ВЫВОДЫ. Результаты исследования показали наличие асимметрии в распределении давления под стопами у высококвалифицированных тхэквондистов. Это может быть связано с особенностями структуры и функции стопы, а также с особенностями тренировочных нагрузок. Дальнейшие исследования в этом направлении могут помочь лучше понять причины и механизмы асимметрии, что, в свою очередь, может быть полезно для улучшения тренировочных программ и профилактики травм у спортсменов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ключников Е. Ю. Тхэквон-до – перспективы сохранения и развития в свете прошедших олимпийских игр // WTF Тхэквон-до : официальное издание тхэквон-до России. 2004. № 2-3 (3-4). С. 29.
2. Ким Д. Г., Ли В. Ф. Истоки возникновения тхэквондо // Вестник Балтийской академии. Вып. 11. Санкт-Петербург, 1997. С. 104–111.
3. Калашников Ю. Б., Малков О. Б., Каплев А. А. Развитие быстроты выполнения удара доleo чаги ближней ногой с помощью ударного метода в тхэквондо // Физическая культура: воспитание, образование, тренировка. 2022. № 3. С. 5–7.
4. Носкова С. А., Тараканов Б. И. Интеграция физической и техник тактической подготовки тхэквондистов в процессе спортивного совершенствования // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2009. № 3. С. 50–53.
5. Чанг М.-Дж., Ванг М.-Дж. Изменение параметров походки во время ходьбы при различном процентном соотношении предпочтительной скорости ходьбы у здоровых взрослых в возрасте 20-60 лет // Походка и осанка. 2010. Т. 31, № 7. С. 131–135.

REFERENCES

1. Klyuchnikov E. Yu. (2004), "Taekwon-do – prospects for preservation and development in the light of the past Olympic Games", *WTF Taekwon-do : the official publication of taekwon-do Russia*, № 2-3 (3-4), p. 29.
2. Kim D. G., Lee V. F. (1997), "The origins of taekwondo", *Bulletin of the Baltic Academy*, No.11, pp. 104–111.
3. Kalashnikov Yu. B., Malkov O. B., Kaplev A. A. (2022), "The development of the speed of performing a doleo chaga kick with the near leg using the percussion method in taekwondo", *Physical culture: upbringing, education, training*, No. 3, pp. 5–7.
4. Noskova S. A., Tarakanov B. I. (2009), "Integration of physical and tactical training techniques of taekwondists in the process of sports improvement", *Scientific notes of Lesgaft University*, № 3, pp. 50–53.
5. Chang M. J., Wang M. J. (2010), "Changes in gait parameters during walking with a different percentage of preferred walking speed in healthy adults at the age of 20-60 years", *Gait and posture*, No. 31 (1), pp. 131–135.

Поступила в редакцию 02.05.2024.

Принята к публикации 20.05.2024.