

УДК 613.955

## ПЛОЩАДЬ ПЛАНТАРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КАК ИНДИКАТОР ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СТОПЫ У ДЕТЕЙ

© 2024 г. П. И. Храмцов\*, А. М. Курганский\*\*

ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей» МЗ РФ, Москва, Россия

\*E-mail: pikhramtsov@gmail.com

\*\*E-mail: kurgansk@yandex.ru

Поступила в редакцию 04.04.2024 г.

После доработки 12.08.2024 г.

Принята к публикации 28.08.2024 г.

Широкое распространение нарушений и заболеваний костно-мышечной системы у детей определяет необходимость исследования функционального состояния стопы в процессе проведения профилактических и оздоровительных мероприятий, а также при гигиенической оценке факторов, влияющих на формирование стопы. Цель исследования – оценить функциональное состояние мышечно-связочного аппарата стопы у детей 7–10 лет на основе анализа изменения площади плантарной поверхности до и после стандартной физической нагрузки. Исследование проведено с участием 59 детей 7–10 лет. Нагрузка состояла в максимальном подъеме и опускании пяток одновременно обеих стоп в количестве 25 раз в темпе 1 цикл (встать на носки и опуститься) за 2 с. Площадь плантарной поверхности стопы определялась с помощью метода подobarографии, состояние свода стопы – с помощью метода плантографии. Установлено, что под влиянием нагрузки площадь правой стопы достоверно не изменилась –  $82.33 \pm 1.58$  и  $81.70 \pm 1.74$  см<sup>2</sup> ( $p = 0.642$ ), площадь левой стопы уменьшилась с  $86.72 \pm 1.50$  до  $81.93 \pm 1.44$  см<sup>2</sup> ( $p = 0.000$ ). Изменение площади правой стопы до и после нагрузки в зависимости от состояния свода стопы также оказалось незначимым. Для левой стопы площадь после нагрузки уменьшилась при нормальном состоянии свода обеих стоп с  $80.31 \pm 2.27$  до  $76.14 \pm 2.55$  см<sup>2</sup> ( $p = 0.022$ ), при уплощении – с  $92.78 \pm 3.88$  до  $88.50 \pm 3.55$  см<sup>2</sup> ( $p = 0.028$ ), при плоскостопии – с  $90.17 \pm 5.35$  до  $84.25 \pm 5.49$  см<sup>2</sup> ( $p = 0.050$ ). Изменение площади плантарной поверхности стопы в ответ на физическую нагрузку может быть использовано для оценки функционального состояния мышечно-связочного аппарата стопы при профилактических медицинских осмотрах, оценке эффективности профилактических и оздоровительных технологий, а также при гигиенической оценке конструкции и массы детской обуви.

*Ключевые слова:* стопа, плантарная поверхность, подobarография, плантография, дети, плоскостопие.

DOI: 10.31857/S0131164624060051 EDN: AGLLV

Широкое распространение нарушений и заболеваний костно-мышечной системы у детей определяет необходимость исследования функционального состояния стопы в процессе проведения профилактических и оздоровительных мероприятий, а также при гигиенической оценке факторов, влияющих на формирование стопы [1–7]. Особую актуальность представляют исследования функционального состояния стопы с целью профилактики ее деформаций, особенно у детей младшего школьного возраста. При исследовании стопы изучается сила реакции опоры, параметры ходьбы и бега, распределение нагрузки на стопу, роль стопы в обеспечении устойчивости вертикальной позы [8–13].

Исследования стопы в основном посвящены оценке влияния обуви различной конструкции и ортопедических вкладок на площадь контакта стопы, анализу динамики распределения давления на плантарную поверхность с возрастом и при различных заболеваниях [14]. Имеются исследования по оценке изменений площади плантарной поверхности стопы под действием различного веса [15], ее увеличения при утомлении во время бега [16, 17]. Показано, что 8-недельная тренировка икроножных мышц может приводить к снижению площади средней части и пяточной зоны стопы [18].

При этом изменению показателя плантарной поверхности под действием дозированной физической нагрузки для разработки диагностических

критериев и функциональных тестов не уделено достаточно внимания.

Цель исследования – оценить функциональное состояние мышечно-связочного аппарата стопы у детей 7–10 лет на основе анализа изменения площади плантарной поверхности до и после стандартной физической нагрузки.

### МЕТОДИКА

В исследовании принимали участие 59 детей 7–10 лет. Оно включало оценку изменения площади плантарной поверхности левой и правой стоп у детей под влиянием стандартной физической нагрузки, которая в соответствии с предложенной авторами методикой состояла из 25 максимальных подъемов и опусканий пяток двух стоп одновременно в темпе 1 цикл за 2 с. До и после нагрузки измеряли площадь плантарной поверхности стопы методом подбарографии с помощью прибора *Pad Professional (Extra Comfort, Израиль)*.

При подбарографическом исследовании стопы ребенка располагались на платформе, измеряющей давление стоп. В результате исследования формируется изображение, на котором зоны высокого давления обозначаются красным цветом, промежуточные зоны – желтым, зоны низкого давления – зеленым или синим, что позволяет визуально оценивать распределение нагрузки на плантарную поверхность стопы при стоянии. Вычисляли площадь плантарной поверхности правой и левой стоп.

Для оценки состояния свода стопы использовали плантографию, что позволило выделить группы детей в зависимости от состояния свода стопы (норма, уплощение, плоскостопие). Оценка плантограмм проводили по методу Штритера.

Критерием включения в исследование являлся возраст детей от 7 до 10 лет, отсутствие острых и обострения хронических заболеваний. Статистический анализ производили в программах *MS Excel* и *SPSS 23.0*.

**Таблица 1.** Площадь плантарной поверхности правой и левой стоп у детей 7–10 лет до и после стандартной физической нагрузки (см<sup>2</sup>)

Стопа	До / После нагрузки	$M \pm m$	$\sigma$	$p$
Левая	До нагрузки	$86.72 \pm 1.50$	15.62	0.000
	После нагрузки	$81.93 \pm 1.44$	15.04	
Правая	До нагрузки	$82.33 \pm 1.58$	16.51	0.642
	После нагрузки	$81.70 \pm 1.74$	18.20	

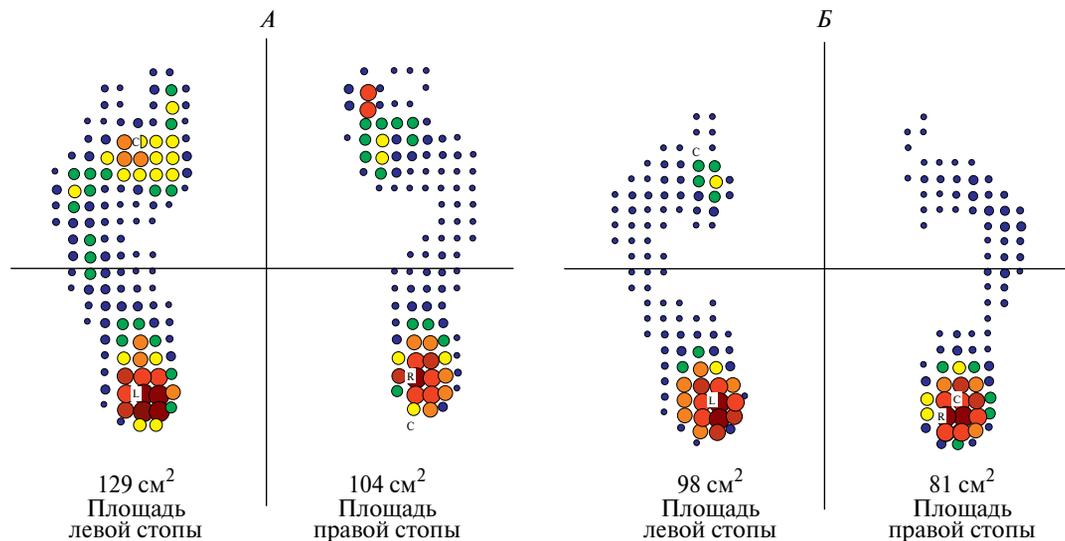
### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При планировании исследования предполагалось, что физическая нагрузка приведет к утомлению мышц стоп и, как следствие, увеличению их плантарной поверхности. Полученные результаты показали, что для левой стопы ее площадь, наоборот, уменьшилась – с  $86.72 \pm 1.50$  до  $81.93 \pm 1.44$  см<sup>2</sup> ( $p = 0,00$ ) (табл. 1), (рис. 1).

Площадь плантарной поверхности правой стопы до и после нагрузки не изменилась и составила соответственно  $82.33 \pm 1.58$  и  $81.70 \pm 1.74$  см<sup>2</sup> ( $p = 0.64$ ). Данный феномен можно объяснить с позиций классической кривой работоспособности, когда в начале выполнения нагрузки отмечается оптимизация параметров функций за счет их активации, а впоследствии их снижение в связи с развитием утомления [19]. Для детей, принявших участие в исследовании, правая нога являлась ведущей и, как следствие, более сильной и более толерантной к физической нагрузке, а левая нога – более слабой, соответственно, менее устойчивой к нагрузке. В связи с этим, данная нагрузка не оказала влияния на состояние правой стопы, а для левой стопы было характерно проявление мобилизации и усиления мышечно-связочного аппарата.

Полученные данные свидетельствуют о “функциональной жесткости” миофасциального ложа правой стопы и о пластичности левой стопы, ее способности к изменению под действием физической нагрузки. Имеются работы, в которых приводятся данные об увеличении площади плантарной поверхности, в частности, во время бега [20]. Данные об уменьшении площади плантарной поверхности стопы при нагрузках в литературных источниках не обнаружены.

Следующий этап исследования был посвящен оценке динамики площади плантарной поверхности правой и левой стоп под влиянием функциональной физической нагрузки в зависимости от состояния их свода. Выделено три группы детей с двусторонним нормальным сводом стопы, двусторонним уплощением и двусторонней плоской стопой.



**Рис. 1.** Изменение площади плантарной поверхности правой и левой стоп у детей 7–10 лет до (А) и после (Б) стандартной физической нагрузки.

**Таблица 2.** Площадь плантарной поверхности левой и правой стоп до и после функциональной нагрузки в зависимости от состояний их свода (см<sup>2</sup>)

Состояние свода стоп	Стопа	До/ после нагрузки	<i>n</i>	<i>M</i> ± <i>m</i>	$\sigma$	<i>p</i>
Норма	Левая	до нагрузки	29	80.31 ± 2.27	12.20	<b>0.022</b>
		после нагрузки	29	76.14 ± 2.55	13.75	
	Правая	до нагрузки	29	75.00 ± 2.72	14.62	0.920
		после нагрузки	29	74.83 ± 2.62	14.11	
Уплотнение	Левая	до нагрузки	18	92.78 ± 3.88	16.45	<b>0.028</b>
		после нагрузки	18	88.50 ± 3.55	15.06	
	Правая	до нагрузки	18	89.78 ± 4.31	18.26	0.834
		после нагрузки	18	90.17 ± 4.89	20.75	
Плоскостопие	Левая	до нагрузки	12	90.17 ± 5.35	18.52	<b>0.050</b>
		после нагрузки	12	84.25 ± 5.49	19.03	
	Правая	до нагрузки	12	90.17 ± 5.01	17.35	0.957
		после нагрузки	12	90.00 ± 4.49	15.54	

*Примечание:* полужирным выделены значимые различия  $p \leq 0.05$ .

Изменение площади плантарной поверхности правой стопы до и после нагрузки при разном состоянии свода стопы оказалось незначимым (табл. 2).

Для левой стопы при нормальном состоянии свода значимость различий площади плантарной поверхности до и после нагрузки составила  $p = 0.022$  ( $80.31 \pm 2.27$  и  $76.14 \pm 2.55$  см<sup>2</sup>, соответственно), при уплощении  $p = 0.028$  ( $92.78 \pm 3.88$  и  $88.50 \pm 3.55$  см<sup>2</sup> соответственно), при плоскостопии

$p = 0.050$  ( $90.17 \pm 5.35$  и  $84.25 \pm 5.49$  см<sup>2</sup> соответственно). Исходя из значений уровня весомости различий, при нормальном состоянии свода стопы ее пластичность выше, чем при деформации ( $p = 0.028 < p = 0.050$ ).

Корреляционный анализ изменения площади плантарной поверхности стоп до и после стандартной физической нагрузки в зависимости от состояния свода позволил выявить следующие закономерности. Наименьшие изменения показателей в

**Таблица 3.** Значения коэффициента корреляции между площадью плантарной поверхности стопы до и после стандартной нагрузки для левой и правой стоп в зависимости от состояния свода

Стопа	Состояние свода стопы		
	норма ( $n = 29$ )	уплощение ( $n = 18$ )	плоскостопие ( $n = 12$ )
Левая	0.751 $p = 0.000$	0.889 $p = 0.000$	0.877 $p = 0.000$
Правая	0.797 $p = 0.000$	0.989 $p = 0.000$	0.804 $p = 0.000$

динамике исследования, которые соответствовали наибольшему значению коэффициентов корреляции, наблюдались при уплощении –  $r = 0.899$  (для левой стопы) и  $r = 0.989$  (для правой стопы), а наибольшие изменения соответствовали минимальным коэффициентам корреляции при нормальном состоянии свода стопы  $r = 0.751$  (для левой стопы) и  $r = 0.797$  (для правой стопы) (табл. 3). При плоскостопии значение  $r$  было больше, чем при нормальном своде стопы, но меньше, чем при уплощении –  $r = 0.877$  (для левой стопы) и  $r = 0.804$  (для правой стопы).

Для анализа полученных данных проведена оценка корреляционных отношений на основе положений теории регулирования функций [21, 22]. Согласно данной теории оптимальное состояние характеризуется невысокими значениями коэффициентов корреляций между показателями функционального состояния организма. При его напряжении наблюдается повышение значений коэффициентов корреляций, что обусловлено мобилизацией дополнительных механизмов регуляции. Уменьшение значений коэффициента корреляций при продолжающемся воздействии нагрузки свидетельствует о перенапряжении системы и разрушении сформировавшихся ранее связей.

Исходя из полученных данных, можно предположить, что при нормальном своде стопы напряжение регуляторных механизмов по поддержанию за счет контроля тонуса мышц стопы и голени минимальное, при уплощении оно наиболее выражено, а при плоскостопии оно имеет промежуточное значение. Однако эта гипотеза опровергается проведенными ранее исследованиями [23]. Оценка механизмов регуляции тонуса мышц при различном состоянии стопы была проведена в процессе стабилографических исследований, в которых анализировалась амплитуда и частота колебаний центра масс в ряду состояний “норма–уплощение–плоскостопие”. Установлено, что частота колебаний увеличивалась линейно, т. е. была минимальна при нормальном своде стопы, при уплощении частота повышалась, а наиболее высокая частота наблюдалась при плоскостопии.

Амплитуда колебаний носит, напротив, нелинейный характер (колоколообразная зависимость),

когда при уплощении наблюдались более высокие значения, чем в норме и при плоскостопии. Это позволило выдвинуть гипотезу, что при уплощении снижение устойчивости наиболее выражено, а при плоскостопии, в связи с продолжительным процессом его формирования, запускаются компенсаторные механизмы, приводящие к повышению устойчивости по сравнению с уплощением за счет повышения частоты колебаний, что свидетельствует о напряжении регуляторных систем.

Другим физиологическим механизмом, который сейчас активно изучается, являются сократительная способность фасциальной ткани и перимизия [24–27]. Показано, что фасции обладают собственными сократительными свойствами, характеризующимися более медленными процессами сокращения, сравнимыми с гладкой мускулатурой.

Миофасциальное ложе обладает собственным тонусом – жесткостью, так называемой пассивной эластичностью, пассивной мышечной податливостью, пассивной растяжимостью, напряжением покоя, или пассивным мышечным тонусом. Данный показатель может меняться под воздействием функциональной нагрузки, которая приводит не только к изменению мышечного тонуса, но и к изменению тонуса миофасциального ложа стопы в целом, что отражается на ее площади. Можно предположить, что данный показатель чувствителен к состоянию свода стопы: в норме он принимает максимальное значение, при деформации происходит его снижение.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Под действием физической нагрузки отмечается уменьшение площади плантарной поверхности левой стопы, что является отражением адаптивной реакции, характеризующей нормальное функционирование мышечно-связочного аппарата стопы.

Полученные результаты описываются с позиций теории регулирования функций и состояний организма. Аналогичные закономерности были выявлены для изменения площади плантарной поверхности стопы под воздействием функциональной нагрузки в зависимости от состояния свода стопы. Для стоп с нормальным состоянием свода

напряжение регуляторных механизмов отсутствует, при уплощении наблюдается напряжение регуляторных механизмов и усиление связей, а при плоскостопии – перенапряжение регуляторных механизмов и ослабление связей.

Функциональная нагрузка может быть использована в качестве диагностического теста для исследования функционального состояния мышечно-связочного аппарата стоп у детей при проведении медицинских профилактических осмотров и для оценки эффективности профилактических и оздоровительных мероприятий при уплощении свода стопы и плоскостопии у детей.

**Финансирование работы.** Работа была выполнена в рамках госзадания: “Системные профилактические технологии формирования здоровья обучающихся в образовательных организациях” (2022–2024 гг.).

**Соблюдение этических стандартов.** Все исследования проводились в соответствии с принципами биомедицинской этики, изложенными в Хельсинкской декларации 1964 г. и последующих поправках к ней. Они также были одобрены Этическим комитетом ЛНЭК ФГАУ “Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей” МЗ РФ (Москва), протокол ЛНЭК № 3 от 25.03.2021 г.

Каждый родитель дал добровольное письменное информированное согласие на участие детей в исследовании после получения разъяснений о потенциальных рисках и преимуществах, а также о характере предстоящего исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hill M., Healy A., Chockalingam N. Key concepts in children's footwear research: A scoping review focusing on therapeutic footwear // *J. Foot Ankle Res.* 2019. V. 12. DOI: 10.1186/s13047-019-0336-z 3628.
2. Inarejos C., Aparisi Gómez M.P., Catala March J., Restrepo R. Ankle and foot deformities in children // *Semin. Musculoskelet. Radiol.* 2023. V. 27. № 3. P. 367.
3. Jiang H., Mei Q., Wang Y. et al. Understanding foot conditions, morphologies and functions in children: A current review // *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2023. V. 11. P. 1192524.
4. Tileston K., Baskar D., Frick S.L. What is new in pediatric orthopaedic foot and ankle // *J. Pediatr. Orthop.* 2022. V. 42. № 5. P. e448.
5. Martín-Casado L., Aldana-Caballero A., Barquín C. et al. Foot morphology as a predictor of hallux valgus development in children // *Sci. Rep.* 2023. V. 13. № 1. P. 9351.
6. Williams C.M., Menz H.B., Lazzarini P.A. et al. Australian children's foot, ankle and leg problems in primary care: A secondary analysis of the Bettering the Evaluation and Care of Health (BEACH) data // *BMJ Open.* 2022. V. 12. № 7. P. e062063.
7. Brucato M.P., Lin D.Y. Pediatric Forefoot Deformities // *Clin. Podiatr. Med. Surg.* 2022. V. 39. № 1. P. 73.
8. Храмов П.И., Барсукова Н.К., Курганский А.М. Компьютерная постурография в гигиенических исследованиях детской обуви // *Вопросы школьной и университетской медицины и здоровья.* 2020. № 2. С. 56.
9. Skaaret I., Steen H., Niratisairak S. et al. Postoperative changes in vertical ground reaction forces, walking barefoot and with ankle-foot orthoses in children with Cerebral Palsy // *Clin. Biomech. (Bristol, Avon).* 2021. V. 84. P. 105336.
10. Guner S., Alsancak S., Güven E., Özgün A. Assessment of five-foot plantar morphological pressure points of children with cerebral palsy using or not dynamic ankle foot orthosis // *Children (Basel).* 2023. V. 10. № 4. P. 722.
11. Mueller J., Richter M., Schaefer K. et al. How to measure children's feet: 3D foot scanning compared with established 2D manual or digital methods // *J. Foot Ankle Res.* 2023. V. 16. № 1. P. 21.
12. Fujimaki T., Wako M., Koyama K. et al. Prevalence of floating toe and its relationship with static postural stability in children: The Yamanashi adjunct study of the Japan Environment and Children's Study (JECS-Y) // *PLoS One.* 2021. V. 16. № 3. P. e0246010.
13. Andreeva A., Melnikov A., Skvortsov D. et al. Postural stability in athletes: The role of age, sex, performance level, and athlete shoe features // *Sports.* 2020. V. 8. № 6. P. 89.
14. Patil M., Bhat V., Bhatia M. et al. New methods and parameters for dynamic foot pressure analysis in diabetic neuropathy / *Proceedings of the 19th annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society. “Magnificent milestones and emerging opportunities in medical engineering”*, Chicago, IL, USA, 1997. V. 4. P. 1826. DOI: 10.1109/IEMBS.1997.757085
15. Tsung B.Y.S., Zhang M., Fan Y., Boone D. Quantitative comparison of plantar foot shapes under different weight-bearing condition // *J. Rehabil. Res. Dev.* 2003. V. 40. № 6. P. 517.
16. Chuckpaiwong B., Nunley J.A., Mall N.A., Queen R. The effect of foot type on in-shoe plantar pressure during walking and running // *Gait Posture.* 2008. V. 28. № 3. P. 405.
17. Fourchet F., Girard O., Kelly L. et al. Changes in leg spring behaviour, plantar loading and foot mobility magnitude induced by an exhaustive treadmill run in adolescent middle-distance runners // *J. Sci. Med. Sport.* 2015. V. 18. № 2. P. 199.

18. *Cen X., Liang Z., Gao Z. et al.* The influence of the improvement of calf strength on barefoot loading // *J. Biomimetics Biomat. Biomed. Eng.* 2019. V. 40. P. 16.
19. *Громбах С.М., Кардашенко В.Н.* Руководство по гигиене детей и подростков М.: Медицина, 1964. 512 с.
20. *Mesquita P.R., Neri S.G.R., Lima R.M. et al.* Running and walking foot loading in children aged 4–10 year // *J. Appl. Biomech.* 2019. V. 35. № 4. P. 241.
21. *Баевский Р.М.* Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. М.: Медицина, 1979. 298 с.
22. *Гуменер П.И.* Принципы и методы регулирования физиологических функций у подростков в процессе деятельности / Методы биокибернетического анализа функционального состояния спортсмен-подростков // Под ред. Сердюковской Г.Н., Гуменер П.И. М.: Инт. гигиены детей и подростков, 1977. С. 7.
23. *Храмцов П.И., Курганский А.М.* Функциональная устойчивость вертикальной позы у детей в зависимости от состояния свода стопы // *Вест. Рос. акад. мед. наук.* 2009. № 5. С. 41.
24. *Kasper-Jedrejewska M., Jędrzejewski G., Ptaszowska L. et al.* The rolf method of structural integration and pelvic floor muscle facilitation: preliminary results of a randomized, interventional study // *J. Clin. Med.* 2020. V. 9. № 12. P. 3981.
25. *Schleip R., Gabbanì G., Wilke J. et al.* Fascia is able to actively contract and may thereby influence musculoskeletal dynamics: A histochemical and mechanographic investigation // *Front. Physiol.* 2019. V. 10. P. 336.
26. *Tak-Man Cheung J., Zhang M., An K.-N.* Effects of plantar fascia stiffness on the biomechanical responses of the ankle-foot complex // *Clin. Biomech. (Bristol, Avon).* 2004. V. 19. № 8. P. 839.
27. *Schleip R., Naylor I.L., Ursu D. et al.* Passive muscle stiffness may be influenced by active contractility of intramuscular connective tissue // *Med. Hypotheses.* 2006. V. 66. № 1. P. 66.
4. *Tileston K., Baskar D., Frick S.L.* What is new in pediatric orthopaedic foot and ankle // *J. Pediatr. Orthop.* 2022. V. 42. № 5. P. e448.
5. *Martín-Casado L., Aldana-Caballero A., Barquín C. et al.* Foot morphology as a predictor of hallux valgus development in children // *Sci. Rep.* 2023. V. 13. № 1. P. 9351.
6. *Williams C.M., Menz H.B., Lazzarini P.A. et al.* Australian children's foot, ankle and leg problems in primary care: a secondary analysis of the Bettering the Evaluation and Care of Health (BEACH) data // *BMJ Open.* 2022. V. 12. № 7. P. e062063.
7. *Brucato M.P., Lin D.Y.* Pediatric Forefoot Deformities // *Clin. Podiatr. Med. Surg.* 2022. V. 39. № 1. P. 73.
8. *Khramtsov P.I., Barsukova N.K., Kurgansky A.M.* [Computer posturography in hygienic research of child shoes] // *Problems of School and University Medicine and Health.* 2020. № 2. P. 56.
9. *Skaaret I., Steen H., Niratisairak S. et al.* Postoperative changes in vertical ground reaction forces, walking barefoot and with ankle-foot orthoses in children with Cerebral Palsy // *Clin. Biomech. (Bristol, Avon).* 2021. V. 84. P. 105336.
10. *Guner S., Alsancak S., Güven E., Özgün A.* Assessment of five-foot plantar morphological pressure points of children with cerebral palsy using or not dynamic ankle foot orthosis // *Children (Basel).* 2023. V. 10. № 4. P. 722.
11. *Mueller J., Richter M., Schaefer K. et al.* How to measure children's feet: 3D foot scanning compared with established 2D manual or digital methods // *J. Foot Ankle Res.* 2023. V. 16. № 1. P. 21.
12. *Fujimaki T., Wako M., Koyama K. et al.* Prevalence of floating toe and its relationship with static postural stability in children: The Yamanashi adjunct study of the Japan Environment and Children's Study (JECS-Y) // *PLoS One.* 2021. V. 16. № 3. P. e0246010.
13. *Andreeva A., Melnikov A., Skvortsov D. et al.* Postural stability in athletes: The role of age, sex, performance level, and athlete shoe features // *Sports.* 2020. V. 8. № 6. P. 89.
14. *Patil M., Bhat V., Bhatia M. et al.* New methods and parameters for dynamic foot pressure analysis in diabetic neuropathy / *Proceedings of the 19th annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society. "Magnificent milestones and emerging opportunities in medical engineering"*, Chicago, IL, USA, 1997. V. 4. P. 1826. DOI: 10.1109/IEMBS.1997.757085
15. *Tsung B.Y.S., Zhang M., Fan Y., Boone D.* Quantitative comparison of plantar foot shapes under different weight-bearing condition // *J. Rehabil. Res. Dev.* 2003. V. 40. № 6. P. 517.
16. *Chuckpaiwong B., Nunley J.A., Mall N.A., Queen R.* The effect of foot type on in-shoe plantar pressure

## REFERENCES

1. *Hill M., Healy A., Chockalingam N.* Key concepts in children's footwear research: a scoping review focusing on therapeutic footwear // *J. Foot Ankle Res.* 2019. V. 12. DOI: 10.1186/s13047-019-0336-z 3628.
2. *Inarejos C., Aparisi Gómez M.P., Catala March J., Restrepo R.* Ankle and foot deformities in children // *Semin. Musculoskelet. Radiol.* 2023. V. 27. № 3. P. 367.
3. *Jiang H., Mei Q., Wang Y. et al.* Understanding foot conditions, morphologies and functions in children: a current review // *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2023. V 11. P. 1192524.

- during walking and running // *Gait Posture*. 2008. V. 28. № 3. P. 405.
17. *Fourchet F., Girard O., Kelly L. et al.* Changes in leg spring behaviour, plantar loading and foot mobility magnitude induced by an exhaustive treadmill run in adolescent middle-distance runners // *J. Sci. Med. Sport*. 2015. V. 18. № 2. P. 199.
  18. *Cen X., Liang Z., Gao Z. et al.* The influence of the improvement of calf strength on barefoot loading // *J. Biomimetics Biomat. Biomed. Eng.* 2019. V. 40. P. 16.
  19. *Grombah S.M., Kardashenko V.N.* [Guide to hygiene for children and adolescents]. M.: Medicine, 1964. 512 p.
  20. *Mesquita P.R., Neri S.G.R., Lima R.M. et al.* Running and walking foot loading in children aged 4–10 year // *J. Appl. Biomech.* 2019. V. 35. № 4. P. 241.
  21. *Baevskij R.M.* [Prediction of conditions on the border between normal and pathological]. M.: Medicine, 1979. 298 p.
  22. *Gumener P.I.* [Principles and methods of regulating physiological functions in adolescents in the process of activity / Methods of biocybernetic analysis of the functional state of adolescent athletes] // Eds. Serdjukovskaja G.N., Gumener P.I. M.: Int. of Hygiene of children and adolescents, 1977. P. 7.
  23. *Khramtsov P.I., Kurgansky A.M.* [Functional stability of the vertical posture in children depending on foot arch condition] // *Ann. Russ. Acad. Med. Sci.* 2009. № 5. P. 41.
  24. *Kasper-Jedrejewska M., Jędrzejewski G., Ptazkowska L. et al.* The rolf method of structural integration and pelvic floor muscle facilitation: preliminary results of a randomized, interventional study // *J. Clin. Med.* 2020. V. 9. № 12. P. 3981.
  25. *Schleip R., Gabbani G., Wilke J. et al.* Fascia is able to actively contract and may thereby influence musculoskeletal dynamics: A histochemical and mechanographic investigation // *Front. Physiol.* 2019. V. 10. P. 336.
  26. *Tak-Man Cheung J., Zhang M., An K.-N.* Effects of plantar fascia stiffness on the biomechanical responses of the ankle–foot complex // *Clin. Biomech. (Bristol, Avon)*. 2004. V. 19. № 8. P. 839.
  27. *Schleip R., Naylor I.L., Ursu D. et al.* Passive muscle stiffness may be influenced by active contractility of intramuscular connective tissue // *Med. Hypotheses*. 2006. V. 66. № 1. P. 66.

## Change in the Area of the Plantar Surface of the Foot as an Indicator of its Functional State in Children

P. I. Khramtsov\*, A. M. Kurgansky\*\*

*National Medical Research Center for Children's Health, Moscow, Russia*

*\*E-mail: pikhrantsov@gmail.com*

*\*\*E-mail: kurgansk@yandex.ru*

The widespread occurrence of disorders and diseases of the musculoskeletal system in children determines the need to study the functional state of the foot in the process of preventive and health-improving measures and in the hygienic assessment of factors of foot formation, including the influence of wearing children's shoes of different designs and weights. The aim of the study was to evaluate the functional state of the musculoskeletal system of the foot in children using standard functional physical activity. The study was conducted with the participation of 57 children aged 7–10 years. The functional load consisted in the maximum lifting the heels, standing on the toes, simultaneously 2 feet in the amount of 25 times at the pace of 1 cycle (stand on your toes and go down) in 2 s. The area of the plantar surface of the foot was determined using the podobarography method, the condition of the arch of the foot – using the plantography method. It was found that under the influence of the load, the area of the right foot did not significantly change –  $82.33 \pm 1.58$  and  $81.70 \pm 1.74$  cm<sup>2</sup> ( $p = 0.642$ ), the area of the left foot decreased from  $86.72 \pm 1.50$  to  $81.93 \pm 1.44$  cm<sup>2</sup> ( $p = 0.000$ ). For the right leading foot, this load turned out to be insignificant, which can be characterized as a manifestation of the “functional rigidity” of the foot in response to the load. For the left foot, the load caused a reaction of mobilization of the musculoskeletal system. The change in the area of the right foot before and after the load, depending on the condition of the arch of the foot, also turned out to be insignificant. For the left foot, in the normal state of the arch of both feet, the area after loading decreased from  $80.31 \pm 2.27$  to  $76.14 \pm 2.55$  cm<sup>2</sup> ( $p = 0.022$ ), with flattening – from  $92.78 \pm 3.88$  to  $88.50 \pm 3.55$  cm<sup>2</sup> ( $p = 0.028$ ), with flat feet – from  $90.17 \pm 5.35$  to  $84.25 \pm 5.49$  cm<sup>2</sup> ( $p = 0.050$ ). The change in the area of the plantar surface of the foot in response to physical exertion can be used to study the functional state of the musculoskeletal system of the foot during preventive medical examinations, evaluation of the effectiveness of preventive and corrective technologies, as well as in the hygienic evaluation of the design of children's shoes.

*Keywords:* foot, plantar surface, podobarography, pedography, children, flat feet, children's shoes.