

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ВЗУТТЯ НА РОЗПОДІЛ НАВАНТАЖЕННЯ У СТОПІ

Голяк О.Д., Носова Я.В.

Кафедра біомедичної інженерії,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
Україна

E-mail: oleksandr.holliak@nure.ua,
yana.nosova@nure.ua

Abstract

This study analyzes modern research on the effects of barefoot and orthopedic footwear on plantar load distribution. The advantages and limitations of two major diagnostic methods – pedobarography and computerized plantography – are compared. Pedobarography provides high-precision quantitative data in static and dynamic conditions, including peak pressure, contact area, and center-of-pressure trajectory, making it the most informative tool for biomechanical assessment. In contrast, computerized plantography, despite enhanced digital processing, delivers mainly morphometric information and does not measure real pressure values. More than 20 scientific sources were reviewed, identifying the most frequently analyzed parameters: Peak Pressure, Pressure–Time Integral, and contact area. The review highlights the lack of standardized measurement protocols and insufficient long-term studies evaluating foot adaptation to orthopedic footwear. The need for a unified methodology to compare the effects of barefoot and orthopedic footwear on plantar load distribution is emphasized, as well as the necessity for national research with representative samples.

Сучасні методи інструментальної діагностики стану стопи [1-2] включають як педобарографію, так і комп'ютеризовану плантографію, які хоча й мають спільну мету – оцінити розподіл навантаження та функціональний стан стопи – однак суттєво відрізняються за принципами роботи, точністю та можливостями аналізу.

Педобарографія є високоточним інструментальним методом, що дозволяє отримувати кількісні дані про тиск на різні ділянки стопи як у статичному, так і в динамічному режимах. Вона забезпечує високу просторову та тимчасову роздільну здатність, реєструє пікові значення тиску (рис.1.), середні навантаження, час контакту окремих зон стопи з опорою та формує повну карту розподілу навантаження в режимі реального часу. Педобарографія є «золотим стандартом» у дослідженнях біомеханіки ходи, ортопедії та спортивної медицини.

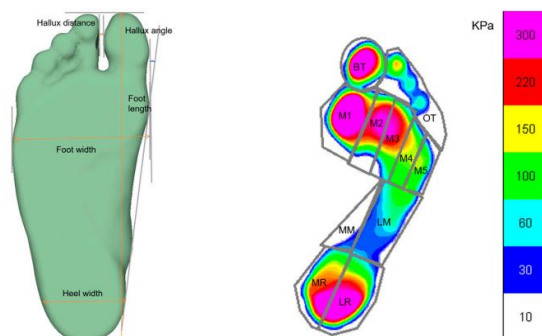


Рис.1. Вимірювання тиску на стопу та поділ підошовної області [2]

Плантографія у класичному вигляді є лише методом отримання відбитка стопи, що використовується переважно для якісної або напівкількісної оцінки плантограми (арки, площі опори, деформації). Однак сучасні комп'ютеризовані плантографи значно розширили можливості цього

методу [2-3]. Завдяки цифровій обробці зображення, автоматизованій сегментації та спеціалізованим програмним алгоритмам, комп'ютерна плантографія дозволяє розраховувати такі параметри, як площа навантаження, індекс поздовжнього і поперечного склепіння, співвідношення навантаження між переднім і заднім відділами стопи. Деякі моделі здатні визначати навіть умовні «зони підвищеного тиску» на основі інтенсивності відбитку.

Попри це, комп'ютеризована плантографія не вимірює реального фізичного тиску, а лише аналізує форму та площу контакту, тому її дані залишаються опосередкованими. Вона менш точна у динамічних режимах і не здатна повністю відтворити часові характеристики контакту стопи з поверхнею. Отже, комп'ютеризована плантографія може бути корисним інструментом скринінгу та попередньої оцінки стопи, однак для повноцінного біомеханічного аналізу, дослідження ефективності ортопедичного взуття чи оцінки розподілу навантаження в рухових умовах більш інформативною та науково валідною є педобарографія (табл. 1.).

У зв'язку з цим актуальним є проведення системного дослідження, спрямованого на розробку та апробацію методики визначення впливу босоногого та ортопедичного взуття на розподіл навантаження у стопі з використанням сучасних інструментальних технологій і статистичного аналізу.

Метою дослідження є розробка та обґрунтування методу визначення впливу босоногого та ортопедичного взуття на розподіл навантаження у стопі за допомогою педобарографічного аналізу.

Таблиця 1. Порівняння педобарографії та комп'ютеризованої плантографії

Критерій	Педобарографія	Комп'ютеризована плантографія
Тип даних	Кількісні дані тиску (Па, кПа), карти навантаження	Відбиток стопи, площа контакту, індекси склепіння
Статичний аналіз	Висока точність, детальна карта тиску	Можлива точна площинна оцінка форми стопи
Динамічний аналіз	Повноцінний аналіз ходи: тиск, час контакту, центр тиску	Обмежений, переважно статичні або напівстатичні оцінки
Просторова роздільна здатність	Висока, залежно від кількості сенсорів	Середня, залежить від DPI камери/сканера
Часова роздільна здатність	Висока (до сотень кадрів/с), реєстрація фаз опори	Низька, здебільшого відсутня
Основні переваги	Висока точність, динамічний аналіз, кількісні параметри тиску	Доступність, швидкість скринінгу, візуальна оцінка стопи
Основні обмеження	Вартість обладнання, потреба у калібруванні	Немає вимірювання реального тиску, залежність від якості зображення
Сфери застосування	Біомеханіка ходи, ортопедія, спортивна медицина, наукові дослідження	Скринінг стопи, підбір ортопедичних устілок, первинна діагностика

Проаналізовано більше 20 літературних джерел сучасних наукових досліджень із використанням наукометричних баз даних Scopus та Web of Science, за результатами складена таблиця. Виходячі із даних складеної таблиці найбільш вивченими параметрами є: піковий тиск (Peak Pressure), Pressure–Time Integral, контактна площа [5-7].

Босоніге ходіння збільшує тиск у передній частині стопи; ортопедичні устілки з м'яких матеріалів перерозподіляють навантаження; стандарти протоколів відрізняються між країнами [8-10].

Українські дослідження підтверджують ефективність ортопедичного взуття у клінічних і дитячих вибірках, але поки мають обмежену вибірку і короткий термін спостереження.

Існує потреба у стандартизованому протоколі вимірювань. Через розбіжності у протоколах (статичні vs динамічні, калібрування, дефініції зон стопи) результати часто не порівнювані між

дослідженнями – потрібно описати й апробувати уніфікований протокол для порівняння босогої та шувної/ортопедичної умов [11].

Необхідність комбінованої оцінки (кількісна + клінічна). Кількісні параметри педобарографії (піковий тиск, pressure–time integral, контактна площа) слід корелювати з клінічними скаргами, суб'єктивним комфортом і змінною морфологією стопи [12].

Дефіцит локальних доказів. В Україні є практичний досвід застосування педобарографії у клініках, але бракує публікацій РСТ/квазі-експериментів щодо впливу саме ортопедичного взуття/устілок vs босогого ходіння у типових українських популяціях (діти, робочі професії, діабетична стопа) [5].

Довготривала адаптація невивчена. Більшість робіт показують миттєвий або короточасний ефект устілок/матеріалів; мало даних про те, як змінюється розподіл тиску після місяців носіння і чи відбувається ремоделювання при звиканні до ортопедичного взуття [13].

Література

1. Zhemchuzhkina T., Nosova T., Kostin D., Prisykh O., Palii I., Kovalskiy V., Gromaszek K., Amirgaliyeva S., Kozbakova A. Electromyographic complex with goniometric tracking of the degree of muscle // Proc. SPIE 12040, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments. 2021.
2. Салєєва А. Д., Семенець В. В., Носова Т. В., Василенко І. М., Баєв П. О., Корнєєв С. В., Литвиненко О. М., Карпенко І. В., Чернишова І. М., Кабаненко І. В. Біомеханічні основи протезування та ортезування // Навчальний посібник. Харків: ХНУРЕ, 2022. 352 с.
3. Павлов С.В., Аврунін О.Г., Злепко С.М., Бодяньський Є.В. та ін. Інтелектуальні технології в медичній діагностиці, лікуванні та реабілітації // Монографія [за редакцією С. Павлова, О. Авруніна]. Вінниця: ПП ТД «Едельвейс і К, 2019. 260 с.
4. Галушко Д. Є., Носова Т. В., Кривенцова О. В., Семашко С. А., Аврунін О. Г. Автоматизація методів плантографії // Автоматизація, електроніка, інформаційно-вимірювальні технології: освіта, наука, практика : матеріали 5-ї Міжнар. наук.-техн. конф., 28-29 листопада. 2024. С. 62-63.
5. Lorkowski J., Gawronska K., Pokorski M. Pedobarography: A Review on Methods and Practical Use in Foot Disorders // Applied Sciences. 2021.Vol. 11(22).
6. Xiang L, Gu Y, Mei Q, Wang A, Shim V and Fernandez J Automatic Classification of Barefoot and Shod Populations Based on the Foot Metrics and Plantar Pressure Patterns // Front. Bioeng. Biotechnol. 2022.
7. Telfer S, Bigham J. The influence of population characteristics and measurement system on barefoot plantar pressures: A systematic review and meta-regression analysis // Gait Posture. 2019. С. 269-276.
8. Єршов Д. В., Рокутов В. С., Кравченко В. В. Ортопедичне взуття та коригуючі устілки неефективні для лікування мобільної плосковальгусної стопи у дітей: систематичний огляд літератури [Електронний ресурс] // Проблеми травматології та остеосинтезу. 2018. № 3–4 (13–14). Режим доступу: <https://tf-g.com.ua/info/articles/ortopedichne-vzuttya-ta-koriguyuchi-ustilki-neeefektivni-dlya-likuvannya-mobilnoji-ploskovalgusnoji-stopi-u-ditej-sistematichnij-oglyad-literaturi.html>.
9. Sulyma V., Filyak Y., Chuzhak A. Pedobarography – monitoring method of functional restoration of unstable ankle joint injuries // PAIN, JOINTS, SPINE. 2022. Vol. 12(3). С. 121–128.
10. McCormack J. Foot Bones: Clear Diagrams of Foot Bones [Електронний ресурс] // Режим доступу: <https://james-mccormack.com/advice-centre/foot-bones/>.
11. Telfer S, Bigham J. The influence of population characteristics and measurement system on barefoot plantar pressures: A systematic review and meta-regression analysis // Gait Posture. 2019. С. 269-276.
12. Elgohary H. M., Allam I., Tolba A. M. N., Ali F., Alwhaibi R. M., Zakaria H. M., Ragab W. M., Elbalawy Y. Effect of Foot Insole on Planter Pressure Distribution in Patients with Neuropathic Diabetic Foot Ulcer: A Prospective, Randomized, Double-Blinded, Controlled Clinical Trial // Medicina. 2024. Vol. 60(12).
13. Shi Q.Q., Li P.L., Yick K.L. et al. Effects of contoured insoles with different materials on plantar pressure offloading in diabetic elderly during gait // Sci Rep 12. 2022.