

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДОШВЕННОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ПЛОСКО-ВАЛЬГУСНОЙ ДЕФОРМАЦИИ СТОПЫ У ДЕТЕЙ

Мармыш А. Г. (dr.marmish@mail.ru)

УО «Гродненский государственный медицинский университет», Гродно, Беларусь

Перспективным методом диагностики патологии стоп в настоящее время является компьютерная барография, позволяющая выявлять нарушения не только при статической нагрузке, но и оценивать функциональное состояние стоп при движении.

Цель исследования – определить особенности распределения подошвенного давления при плоско-вальгусной деформации у детей.

Материал и методы. Производилась оценка распределения подошвенного давления у 74 здоровых детей и у 98 детей с двусторонней плоско-вальгусной деформацией. Для оценки вальгусного отклонения использовался предложенный фронтальный динамический индекс (ФДИ).

Результаты. Выявлено достоверное снижение ФДИ до 50,01 в младшей и 52,18 в старшей возрастных группах. Определена диагностическая эффективность показателя ФДИ. Выявлены характерные изменения при педобарографии у детей с плоско-вальгусной деформацией.

Ключевые слова: подошвенное давление, фронтальный динамический индекс, плоско-вальгусная деформация.

Введение

Человеческая стопа, являясь уникальным, сформированным в процессе эволюции органом, испытывающим на протяжении жизни огромные нагрузки, представляет большой интерес для изучения в связи со сложностью своей анатомо-биомеханической структуры. При ходьбе стопа принимает на себя ударную нагрузку, соразмерную с массой тела. С каждым шагом по различным жестким покрытиям она испытывает ускорения, равные 18-20 g. В норме, благодаря сводчатому строению стопы и ее рессорной функции, ускорение до 70% гасится, амортизируется. Плоская стопа обладает худшими демпфирующими свойствами, что значительно усиливает негативное влияние ударных нагрузок на организм. При плоско-вальгусной деформации стоп происходит избыточная инверсия пяточной кости (более 6°), в результате чего силы мышц супинаторов не хватает для ресупинации подтаранного сустава перед отрывом пятки, что значительно снижает жесткость рычага. При недостаточной жесткости происходит перенапряжение связок и мышц голени, перегрузка суставов стопы. В ответ на пронацию и вальгирование пятки развивается компенсаторная супинация переднего отдела, которая является характерным компонентом плоско-вальгусной стопы. При таком типе деформации в опоре участвует на 38% площади больше, чем это необходимо [1, 2]. При нормальном развитии стопы основная нагрузка распределяется по подошвенной поверхности от пятки по наружному краю стопы в направлении головок плюсневых костей, затем – в область пальцев, причем основная роль в процессе отталкивания принадлежит большому пальцу. При плоско-вальгусной деформации опорный вектор смещается медиально. Это меняет характер ходьбы, является причиной усиления динамической нагрузки на весь опорно-двигательный аппарат.

Для объективизации контроля развития па-

тологии стопы у детей необходимо применение метода, который не имеет лучевой нагрузки, а также позволяет выполнять оценку функции стопы не только в статике, но и в динамике, поскольку максимум удельной нагрузки на ее подошвенную поверхность при ходьбе значительно выше, чем в положении стоя с опорой на обе конечности. Причиной этого является динамичность нагрузки и уменьшение площади контакта стоп с опорой в момент переката. Кроме того, в положении стоя пациент обладает большей свободой для выбора варианта нагружения стопы и обычно смещает нагрузку с болезненных участков на другие области или даже на другую конечность. Причем это может происходить неосознанно, на уровне адаптивных свойств стопы для обеспечения щадящего режима её нагружения. Поэтому для определения патологии стопы целесообразнее выполнять оценку ее функции в динамике. В настоящее время существует множество разных методик, позволяющих оценить высоту свода стопы и степень ее распластанности. Среди существующих методов диагностики патологии стопы выделяют следующие: визуальная оценка стопы, подометрия, методы планто-контурографии, традиционная плоскостная рентгенография, биомеханические методы (регистрация опорных взаимодействий) и мио-тонометрии. Согласно литературным данным, наиболее перспективным методом диагностики патологии стоп в настоящее время является компьютерная барография, позволяющая выявлять нарушения не только при статической нагрузке, но и оценивать функциональное состояние стоп при движении [1, 3].

Цель исследования – определить особенности распределения подошвенного давления при плоско-вальгусной деформации у детей.

Материал и методы

Объект исследования – 98 детей с двусторонней плоско-вальгусной деформацией стоп в возрасте от 6 до 16 лет. Контрольную группу со-

ставили 74 здоровых ребенка. Предмет исследования – особенности распределения подошвенного давления у детей от 6 до 16 лет в норме и при плоско-вальгусной деформации. Дети были разделены на следующие группы:

Группа 1 – здоровые дети (контрольная группа) 74 ребенка (148 стоп):

- 1а – дети в возрасте 6-9 лет, 38 чел. (76 стоп);
- 1б – дети в возрасте 10-16 лет, 36 чел. (72 стопы);
- Группа 2 – дети с двусторонней плоско-вальгусной деформацией, 98 чел., (196 стоп):
- 2а – дети в возрасте 6-9 лет, 18 чел. (36 стоп);
- 2б – дети в возрасте 10-16 лет, 40 чел. (80 стоп).

При обследовании использовались метод компьютерной барографии, а также клинические и фотоплантографические методы исследования. При клиническом обследовании пациентов выясняли жалобы, сведения о проводившемся лечении, оценивали общий вид стопы, установку пяточной кости, состояние продольного и поперечного сводов, мобильность деформации. Все пациенты обследованы с применением компьютерной фотоплантографии, заключающейся в регистрации плантограмм в положении стоя на двух ногах с равномерным распределением веса на обе стопы с последующим компьютерным анализом полученных данных. При этом определялись угол Кларка, индекс Годунова, индексы передней (ИПО) и задней (ИЗО) опоры.

Для оценки взаимодействия стопы с опорой в статике и динамике использовался «Комплекс электронно-механический для диагностики патологии стоп» (КЭМ-ТУ РБ 500032863.001-2004, патент № 3374). Исследования проводились в автономном режиме с размещением измерительных и регистрирующих устройств на теле пациента. Перед началом измерений пациент знакомился с программой, целью исследований и проходил привычную походку, глядя перед собой, не обращая внимания на кабели и функциональные модули, с целью адаптации к новым условиям ходьбы. Это позволяло избежать скованности и нарушения привычной естественности ходьбы, что имело существенное значение для получения объективной биомеханической информации. Затем пациент вставал на горизонтальной ровной поверхности в физиологическую позу (выпрямленная спина, подбородок приподнят, плечевой пояс развернут) с равномерной нагрузкой на обе нижние конечности. Производились контрольная регистрация статической нагрузки и определение локализации общего центра массы (ОЦМ), после чего пациент делал от 6 до 10 шагов в обычном, спокойном темпе. Оценивали структуру графиков интегральной нагрузки, траекторию перемещения ОЦМ, распределение нагрузки по подошвенной поверхности стопы [2].

Оценку структуры графиков интегральной нагрузки проводили в баллах от 1 до 3 согласно

следующим критериям: 1 – хорошо выраженные передний и задний толчки, а также главный минимум нагрузки; 2 – нарушение плавности графиков, снижение амплитуды одного из пиков нагрузки; 3 – нарушение плавности графиков, снижение амплитуды, вплоть до полного отсутствия, главных минимумов нагрузки.

Оценку траектории перемещения вектора ОЦМ проводили в баллах (от 0 до 1) согласно следующим критериям: 0 – нормальное положение вектора ОЦМ; 1 – смещение траектории перемещения вектора ОЦМ в сторону ее медиального края.

При анализе подошвенного давления вальгусная деформация выявляется на основании его смещения к внутренней стороне, увеличения нагрузки в области продольного свода, медиальной поверхности пятки. Однако подобный качественный анализ является субъективным и в большей степени зависит от личного опыта специалиста [4, 5]. Нами предложен фронтальный динамический индекс (Патент № 17939 "Способ диагностики вальгусной деформации стопы") для количественной оценки выраженности вальгусной деформации. Для его расчета стопу разделяли на равные по ширине медиальную и латеральную зоны, с последующим расчетом соотношения давления в латеральной зоне к сумме давлений в латеральной и медиальной зонах (рис. 1):

$$\text{ФДИ} = \frac{P_{\text{л}}}{P_{\text{л}} + P_{\text{м}}} \times 100\%$$

где $P_{\text{л}}$ – давление в латеральной зоне стопы (Па);

$P_{\text{м}}$ – давление в медиальной зоне стопы (Па).

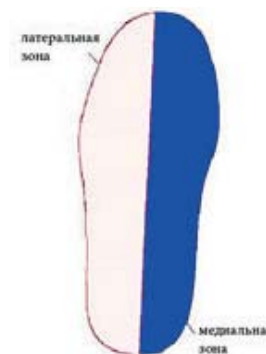


Рисунок 1. – Схема разделения стопы на латеральную и медиальную зоны для расчета фронтального динамического индекса

Изучение показателей, полученных у разных испытуемых, показало, что данные давления зависят от таких факторов, как вес, возраст, скорость ходьбы. Учитывая, что, по данным Мицкевича В. А., а также других авторов, даже в недеформированной стопе распределение нагрузки характеризуется большим разбросом параметров, нами для унификации расчетов, объективизации полученных данных, а также с целью исключения влияния веса исследуемого на результаты педобарографии предложено рассчитывать удельную нагрузку (процентное

распределение давления) по зонам стопы по отношению ко всей стопе.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью программы STATISTICA for Windows (версия 6.0). При нормальном распределении изучаемого признака данные описательной статистики представляли с определением среднего арифметического значения (M) и среднего квадратического отклонения (σ), если гипотеза о нормальном распределении отклонена, то в данных указывали медиану (Me) и верхний и нижний квартили (LQ/UQ). Достоверность различий между средними значениями двух групп (нормальное распределение) оценивали по t-критерию Стьюдента с вариантами для зависимых и независимых переменных.

При ненормальном распределении и небольшой выборке для сравнения порядковых переменных использовались методы непараметрической статистики: тест Mann-Whitney, критерий Wilcoxon. Статистический анализ качественных параметров, представленных в виде таблиц частот, в случае независимых подгрупп осуществлялся при помощи точного критерия Фишера (двусторонний тест).

Для определения диагностической эффективности метода педобарографии проведен ROC-анализ исследуемых показателей. ROC-кривая (ROC-curve) характеризует соотношение чувствительности и специфичности в зависимости от точки разделения.

Результаты и обсуждение

Значения фронтального динамического индекса при ходьбе у пациентов с плоско-вальгусной деформацией в сравнении с данными обследования здоровых детей (контрольная группа) представлены в таблицах 1, 2.

Таблица 1. – Данные педобарографического обследования здоровых детей и детей с продольным плоскостопием в младшей возрастной подгруппе (Me (25/75%))

Показатель	Здоровые дети	Дети с продольным плоскостопием	p критерий
ФДИ, %	53,16 (51,94/54,16)	50,01 (46,11/ 53,07)	p<0,0001

Таблица 2. – Данные педобарографического обследования здоровых детей и детей с продольным плоскостопием в старшей возрастной подгруппе (Me (25/75%))

Показатель	Здоровые дети	Дети с продольным плоскостопием	p критерий
ФДИ	53,33 (52,34/54,3)	52,18 (49,5/54,28)	p=0,0012

В обеих возрастных подгруппах выявлено достоверное снижение ФДИ, что свидетельствует о медиальном смещении давления под стопой, особенно в среднем отделе стопы.

Произведена оценка диагностической эффективности показателя ФДИ с использованием ROC-анализа и построением характеристической кривой (ROC-кривой), которая отражает зависимость чувствительности (Se) и специфичности (Sp) от точки разделения.

Оценив площадь под ROC-кривой показателя давления, можно констатировать, что определение ФДИ у пациентов младшей возрастной подгруппы имеет наибольшую диагностическую ценность. Площадь под характеристической кривой для ФДИ равна 0,759 (95% ДИ: 0,681-0,825). В старшей возрастной подгруппе (10 лет и старше) площадь под характеристической кривой для показателя ФДИ – 0,639 (95% ДИ: 0,567-0,706).

Следующий этап статистического анализа – определение оптимальных точек разделения, обеспечивающих четкое отграничение пациентов с нарушениями от здоровых, при которых диагностическая ценность метода является максимальной (рис. 2). В младшей возрастной подгруппе (6-9 лет) анализ ROC-кривой ФДИ показал, что оптимальной точкой разделения, обеспечивающей четкое отграничение пациентов с нарушениями от здоровых, является значение показателя, равное 50,08%. При этом значении чувствительность равна 51,39% (95% ДИ: 39,3-63,3), специфичность – 92,11% (95% ДИ: от 83,6-97). В старшей возрастной подгруппе (10 лет и старше) оптимальной точкой разделения, обеспечивающей максимум чувствительности и специфичности для показателя ФДИ, является значение 51,44%. При этом значении чувствительность равна 45,16% (95% ДИ: от 36,2-54,3), специфичность – 88,89% (95% ДИ: от 79,3-95,1).

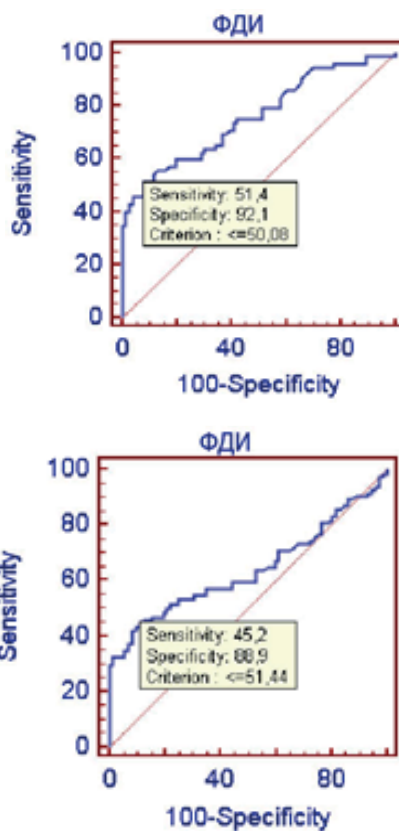


Рисунок 2. – ROC-кривые соотношения чувствительности и специфичности показателя ФДИ: а) младшая возрастная группа, б) старшая возрастная группа

При изучении траектории перемещения ОЦМ оценивались форма кривой и ее положение по отношению к продольной оси стопы (рис. 3). При сравнении со здоровыми детьми контрольной группы этот показатель анализировался с помощью таблиц сопряженности точным критерием Фишера. В младшей возрастной подгруппе (6-9 лет) в 62 случаях из 72 (86%) с продольным плоскостопием наблюдалось смещение траектории перемещения вектора ОЦМ в сторону ее медиального края, причем форма ее приближалась к прямой линии ($p < 0,0001$). В старшей возрастной подгруппе в 102 случаях из 124 (82%) с продольным плоскостопием выявлено отклонение траектории перемещения вектора ОЦМ медиально, при этом имеется статистически достоверное различие с пациентами контрольной группы ($p < 0,0001$).

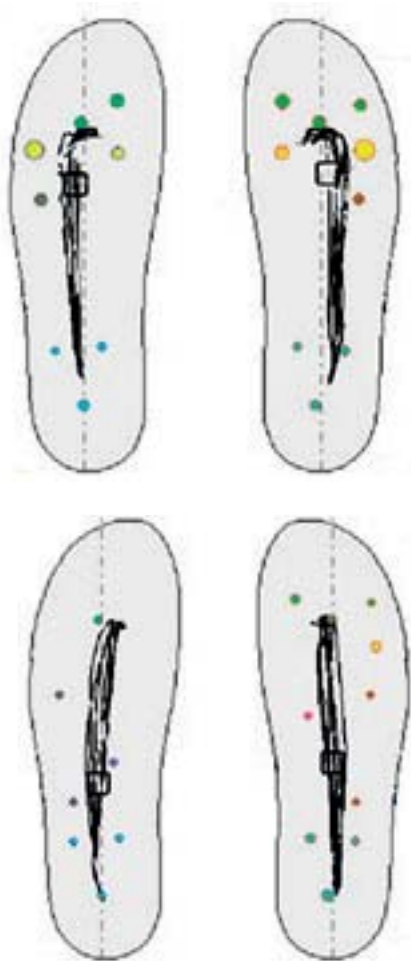
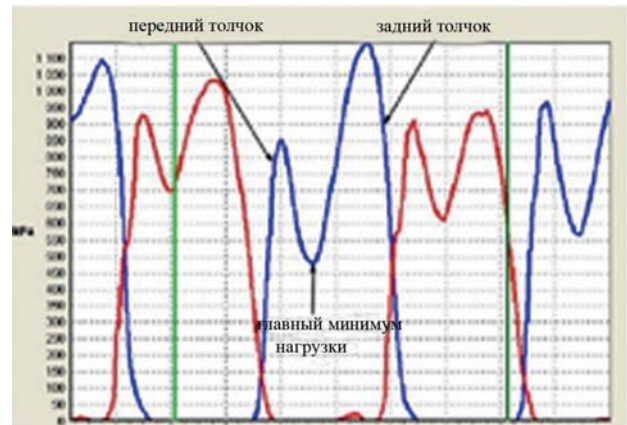


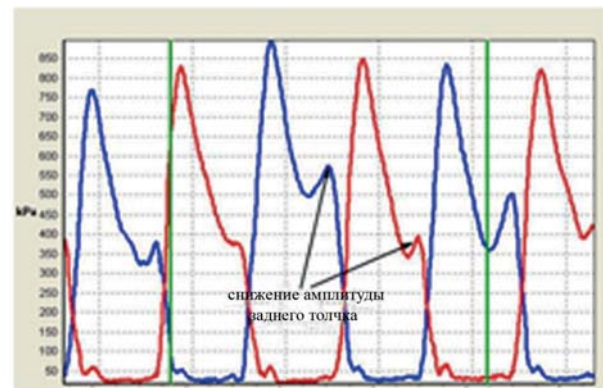
Рисунок 3. – Траектория перемещения ОЦМ: а) в норме; б) при плоско-вальгусной деформации

При анализе графиков интегральной нагрузки (рис. 4) в 43 (60%) случаях в младшей возрастной подгруппе и в 83 (67%) случаях в старшей возрастной подгруппе было выявлено нарушение плавности графиков, снижение заднего (носок) толчка, что свидетельствует о нарушении рессорной функции стопы, а также о снижении жесткости стопы как рычага в момент отталкивания от опоры и снижении толчковой функции (рис. 4). В 17 (24%) и в 20 (16%) случаях в со-

ответствующих возрастных группах отмечено снижение амплитуды, вплоть до полного отсутствия, главных минимумов нагрузки, что характеризует нарушение структуры переката через стопу. Имеются статистически значимые различия в структуре графиков в группе здоровых детей (контрольная группа) и детей с продольным плоскостопием согласно критерию Манна-Уитни ($p < 0,0001$ для обеих возрастных групп).



а



б

Рисунок 4. – График интегральной нагрузки: а) в норме; б) при плоско-вальгусной деформации

Таким образом, проведенный анализ распределения подошвенного давления позволил нам выделить следующие изменения основных показателей компьютерной барографии при плоско-вальгусной деформации стопы у детей: 1) снижение ФДИ менее 50,19% в младшей и 51,32% в старшей возрастных подгруппах; 2) медиальное смещение траектории общего центра массы; 3) нарушение плавности графиков интегральной нагрузки, снижение амплитуды заднего толчка.

Выводы

1. Предложенный ФДИ имеет высокую специфичность (88,9% для старшей и 92,1% для младшей возрастных групп) при педобарографической диагностике плоско-вальгусной деформации стопы и может применяться в ортопедии как объективный критерий данной патологии у детей.

2. ФДИ как количественный показатель распределения подошвенного давления в комплексе с такими качественными его характеристиками, как вектор смещения ОЦМ, нарушение плавности графиков интегральной нагрузки,

снижение амплитуды заднего толчка могут быть успешно использованы для мониторинга эффективности консервативного и хирургического методов лечения плоско-вальгусной деформации стопы у детей.

Литература

1. Биомеханика и коррекция дисфункций стоп : монография / М. Дерлятка [и др.] ; под науч. ред. А. И. Свириденка, В. В. Лашковского. – Гродно : ГрГУ, 2009. – 279 с.
2. Новый способ ранней функциональной диагностики и контроля ортопедической коррекции патологии стоп / С. И. Болтрукевич [и др.] // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. – 2005. – № 4 (12). – С. 115-121.
3. Jacer, L. Pedobarography in diagnostics of the foot with hallux valgus / L. Jacer, D. Zarzycki // 6th Congress of the European Federation of National Associations of Orthopedics and Traumatology : abstract book, Helsinki, 4-10 June, 2003. – Helsinki, Finland, 2003. – P. 127.
4. Мицкевич, В. А. Значение нарушения распределения нагрузки по стопе в оценке состояния и диагностики заболеваний и деформаций стопы и голеностопного сустава : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук : 14.00.22 / В. А. Мицкевич ; ЦНИИ травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. – Москва, 1994. – 28 с.
5. Walczak, M. The variability of plantar pressure pattern distribution in healthy children and its relation to flexible flatfoot / M. Walczak, M. Napiontek // The Journal of Orthopaedics Trauma Surgery and Related Research. – 2007. – Vol. 1, № 5. – P. 13-26.

References

1. Derljatka M, Ignatovskij MI, Lashkovskij VV, Krupich B, Kiselevskij JuM, Pauk I, Rogalskij M, Sviridjonok AI, Sychevskij LZ. Biomehanika i korekcija disfunkcij stop. Grodno: Yanka Kupala State University of Grodno; 2009. 279 p. (Russian).
2. Boltrukevich SI, Sviridjonok AI, Tochickij VV, Kochergin VV, Lashkovskij VV, Sychevskij LZ, Karev BA, Zamilackij AA, Anosov VS. Novyj sposob rannej funkcional'noj diagnostiki i kontrolja ortopedicheskoj korekcii patologii stop *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta* [Journal of the Grodno State Medical University]. 2005;4(12):115-121. (Russian).
3. Jacer L, Zarzycki D. Pedobarography in diagnostics of the foot with hallux valgus. In: 6th Congress of the European Federation of National Associations of Orthopedics and Traumatology; Abstract book, Helsinki, 2003 June 4-10. Helsinki, Finland; 2003. p. 127.
4. Mickevich VA. Znachenie narusheniya raspredeleniya nagruzki po stope v ocenke sostojanija i diagnostiki zabolevanij i deformacij stopy i golenostopnogo sustava [masters thesis]. Moscow (Russia): Centralnyj Nauchno-issledovatel'skij Institut Travmatologii i Ortopedii imeni N. N. Priorova; 1994. 28 p. (Russian).
5. Walczak M, Napiontek M. The variability of plantar pressure pattern distribution in healthy children and its relation to flexible flatfoot. *The Journal of Orthopaedics Trauma Surgery and Related Research*. 2007;1(5):13-26.

PLANTAR PRESSURE DISTRIBUTION IN CHILDREN WITH PES PLANOVALGUS

Marmysh A. G.

Educational Institution "Grodno State Medical University", Grodno, Belarus

Pedobarography is a perspective method of feet pathology diagnosis. It evaluates not only static load on the foot, but also functional condition of the feet during movement.

Material and methods. Plantar pressure distribution was assessed in 74 healthy children and 98 children with bilateral pes planovalgus. The frontal dynamic index (FDI) was used for evaluation of a valgus deviation of the foot.

Results. A statistically significant decrease in the FDI to 50.01 in the younger and to 52.18 in the older age group was observed. Diagnostic efficiency of the FDI was defined. Characteristic changes of plantar pressure distribution in children with pes planovalgus were described.

Keywords: plantar pressure, frontal dynamic index, pes planovalgus.

Поступила: 14.04.2017

Отрецензирована: 02.05.2017