

УДК 617.586-007.58:57.087.1

## РОЛЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПЕДОБАРОГРАФИИ В ОЦЕНКЕ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТОПЫ В НОРМЕ И ПРИ ЕЕ ПЛОСКО-ВАЛЬГУСНОЙ ДЕФОРМАЦИИ

В.В. Лашковский<sup>1</sup>, к.м.н. доцент; М.И. Игнатовский<sup>2</sup>, к.т.н.

<sup>1</sup> - УО «Гродненский государственный медицинский университет»

<sup>2</sup> - ГНУ «Научно-исследовательский центр проблем ресурсосбережения НАН Беларуси»

*Описана методика проведения и анализа данных динамической педобарометрии для объективизации диагностики плоско-вальгусной деформации стопы. На основе биомеханической теории цикла шага выделены шесть основных патологических компонентов данной деформации. Определены фазы периода опоры цикла шага, для которых рационально выполнять анализ биомеханического исследования.*

**Ключевые слова:** плоско-вальгусная деформация стопы, педобарометрия, биомеханика, цикл шага.

*A description of the method for conduction and analysis of data acquired from dynamic pedobarometry for objectivization of pes plano-valgus diagnostics is given. On the basis of the biomechanical theory of the gait cycle six main pathological components of this deformation are distinguished. Phases of the support period of the gait cycle, for which it is reasonable to conduct analysis of biomechanical study, are defined.*

**Keywords:** pes plano-valgus, pedobarometry, biomechanics, gait cycle.

### Введение

Подиатрия как раздел ортопедии, изучающий патологию стопы врождённого, приобретённого, травматического генеза, многообразные варианты нормы и пограничные состояния с доклиническими проявлениями патологии, а также ортезное и обувное обеспечение пациентов в настоящее время не получила должного развития в странах бывшего СССР. Это же можно отнести и к биомеханике – науке о механических свойствах живых тканей, органов и организма в целом, а также происходящих в них механических явлениях (при движении, дыхании и т.д.) [7]. Биомеханика объединяет очень широкий спектр теоретических и прикладных наук, изучающих механические движения в живой природе. Клиническая биомеханика является подразделом, обеспечивающим практическое применение биомеханических знаний в медицине [3].

В Беларуси биомеханика стала развиваться во второй половине XX века и, прежде всего, в связи с нуждами спорта, а не практического здравоохранения. В настоящее время в Республике Беларусь наиболее активно отдельные разделы биомеханики развиваются в 27 вузах и НИИ [6].

Разработка вопросов клинической биомеханики применительно к подиатрии для решения вопросов ранней диагностики, объективной оценки результатов консервативного и оперативного лечения, контроля качества коррекции при изготовлении подошвенных индивидуальных ортезов имеет значение как для практического здравоохранения, так и для научных исследований в указанных направлениях [5].

В течение последних десятилетий было предложено большое количество методик определения анатомо-функционального состояния элементов стопы в статике и динамике. Многие из этих методик не вышли за пределы исследовательских лабораторий в клиническое использование.

В то же время, продолжают развиваться разработки систем диагностики, основанных как на технических достижениях электроники, так и на новых клинических данных. Клиническому использованию новых диагностических систем должна предшествовать научно-исследовательская деятельность, направленная на отслеживание результатов и стандартизацию методологий, так как анализ и интерпретация получаемых данных имеют очень широкие вариации

[13]. Эффективность и достоверность получаемых результатов каждой системы должны быть протестированы прежде, чем ими можно будет пользоваться в клинической практике при работе с пациентами.

Современными инструментальными методами контроля состояния анатомических структур стопы и анализа распределения подошвенного давления являются: фотоплантография, рентгенография и педобарометрия. Два первых метода регистрируют электромагнитные волны оптического и рентгеновского диапазона после их взаимодействия с поверхностными тканями или внутренними структурами при статическом положении пациента.

Для объективизации исследования и учёта как статической, так и динамической составляющей деформации стопы в цикле шага нами использована педобарометрия, позволяющая фиксировать локальные статико-динамические значения давления на подошвенной поверхности стопы [8, 9, 10, 11, 12].

Цель работы: Совершенствование методики проведения педобарометрического обследования пациентов на примере изучения особенностей распределения подошвенного давления в течение периода опоры цикла шага в норме и при плоско-вальгусной деформации стопы (ПВДС). Выработка оптимальной методики выполнения педобарографического обследования, включающей подбор условий и правил работы с пациентом. Определение возможностей педобарографии для выделения патологических компонентов плоско-вальгусной деформации стопы.

### Материалы и методы

За период 2007–2009 гг. нами было выполнено педобарографическое обследование 155 детей. Все дети обследованы клинически для исключения сопутствующих ортопедических заболеваний или деформаций со стороны нижних конечностей и стоп. По результатам клинического исследования было установлено, что 112 пациентов имели плоско-вальгусную деформацию стопы различной степени тяжести, 43 составили контрольную группу.

В нашем исследовании использовались две педобарографические системы: «Комплекс электронно-механический для диагностики патологии стоп» (КЭМ), на одной измерительной стельке которого, в зависимости от её размера, размещено от 16 до 24 датчиков и Medilogic

«Спорт» с 88-154 датчиками на одной стельке. Для анализа педобарометрических данных использовано собственное программное обеспечение.

Все обследования проводились по единой методике. Измерительные стельки помещались в специальную обувь с твёрдой и плоской внутренней поверхностью подошвы для предотвращения искажения барометрических данных неравномерностью рельефа или неравномерной упругостью подошвы. Обращалось внимание на плотную фиксацию обуви на ноге пациента, исключающую скольжение стопы по отношению к стельке, а также сдвигу измерительной стельки в плоскости подошвы обуви. Измерительные стельки при помощи проводов подключались к электронному модулю, расположенному на поясе пациента.

Для получения объективных данных с пациентом проводилась подготовка: ознакомление его с целью и методикой обследования, предварительная тренировка ходьбы с подключенной системой без записи информации. Это позволяло избежать скованности движений, исключить не характерные для пациента изменения походки, нарушающие привычный, естественный ритм ходьбы.

Запись педобарометрических данных включала в себя также состояние покоя пациента перед началом и после окончания ходьбы. Во время записи обследования пациент проходил по открытому участку пола с ровной поверхностью не менее 12 м. Отклонения от линейной траектории ходьбы, повороты и неравномерность скорости движения пациента исключались.

Основным понятием, используемым при анализе ходьбы, является цикл шага [4]. Цикл шага – промежуток от момента касания пятки опорной поверхности одной ноги до момента следующего касания этой же пяткой опорной поверхности. Таким образом, он включает два шага: левой и правой ногой. Для ходьбы характерен постоянный контакт одной либо двух стоп с поверхностью опоры. Ходьбе присуще чередование нескольких периодов: период опоры (support phase), при котором стопа соприкасается с опорной поверхностью; период переноса (swing phase) и период двойной опоры (double support phase).

Во время периода опоры происходит перекал стопы по опорной поверхности. Период опоры подразделяется на пять фаз: а) контакт пятки с поверхностью опоры (рисунок 1), б) момент соприкосновения всей поверхности стопы с опорой, в) полная нагрузка на стопу – проекционный центр массы тела находится над серединой геометрической поверхности соприкосновения стопы с покрытием (рисунок 2, 3), г) отрыв пятки от опорной поверхности (рисунок 4), д) отрыв большого пальца стопы от опорной поверхности [4, 15]. В рамках педобарометрического анализа наиболее удобно использовать первую, третью и четвертую фазы, методика определения границ которых приведена нами в литературе [1].

Для проведения анализа педобарографических данных во время периода опоры цикла шага использованы выделенные нами основные патологические компонентами плоско-вальгусной деформации стопы [2]:

1) подошвенное сгибание таранно – пяточно-ладьевидного блока; избыточная пронация в подтаранном суставе с вальгусным и наружно-ротационным отклонением пяточной кости по отношению к таранной;

2) горизонтальное смещение головки таранной кости кнутри и вертикальное книзу по отношению к ладьевидной кости;

3) укорочение наружной и удлинение внутренней колонны стопы;

4) супинация переднего отдела стопы по отношению к заднему с разгибанием 1 плюсневой кости;

5) перерастяжение сухожилия задней большеберцовой мышцы и её функциональная недостаточность;

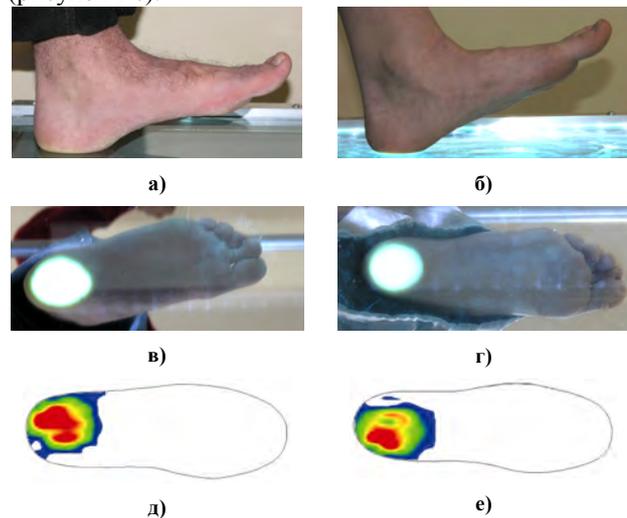
6) укорочение ахиллова сухожилия с наружным смещением точки прикрепления.

### Результаты и обсуждение

Во время фазы контакта пятки с поверхностью опоры на педобарограмме могут быть выявлены первый и шестой компоненты деформации стопы (рисунок 1). При касании пяткой поверхности, снаружи оси подтаранного сустава возникает сила реакции опоры, создающая пронационный момент на уровне подтаранного сустава. В норме это компенсируется мышечно-связочными компонентами стопы и голени. При ПВДС происходит патологический поворот кнутри таранной кости вокруг пяточной, она подошвенно сгибается, приводится и ротруется кнутри в горизонтальной плоскости, а пяточная кость занимает вальгусное положение с наружной ротацией. Центр тяжести смещается кнутри, что ещё больше усиливает пронационное воздействие статической нагрузки на пяточную кость.

Тело пяточной кости в проксимальной части анатомически имеет пяточный бугор tuber calcanei, который в сторону подошвы образует два бугорка – processus lateralis и processus medialis tuber calcanei. В норме при соприкосновении пятки с опорной поверхностью нагрузка распределяется на два эти анатомические образования с акцентом на область латерального бугра (рисунок 1 в, д).

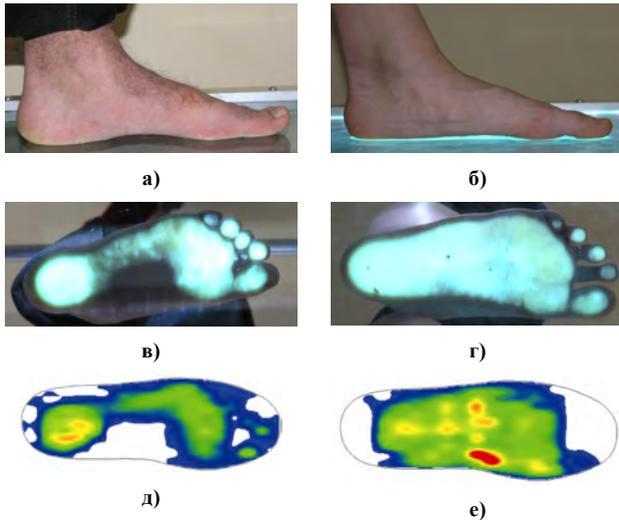
При ПВДС, в связи с пронационным положением заднего отдела стопы, укорочением tendo Achilli и динамическим смещением кнаружи точки его прикрепления – нагружается преимущественно внутренняя часть пяточной области. Это недостаточно хорошо выражено на фотоплантограмме (рисунок 1 г), снятой при имитации фазы шага, но чётко зафиксировано на педобарограмме (рисунок 1 е).



**Рисунок 1 – Контакт пятки с опорной поверхностью:**  
а, в, д – здоровая и б, г, е – ПВДС (фотография, фотоплантограмма и педобарограмма, соответственно)

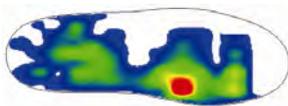
Второй и пятый компоненты деформации прослеживаются на педобарограмме во время фазы полной нагрузки на стопу (рисунок 2). В случае здоровой стопы на фотоплантограммах и педобарограммах хорошо прослеживается подсводное пространство (рисунок 2 в, д).

При плоско-вальгусной деформации стопы, когда во время этой фазы происходит контакт всей подошвы с опорной поверхностью и пяточная кость занимает положение в 6 и более градусов вальгусного отклонения от вертикальной оси – силы мышц супинаторов недостаточно для преодоления пронизирующего момента на уровне подтаранного сустава. Стопа не занимает супинированного положения перед отрывом пятки и это неблагоприятно сказывается на её динамической функции [14]. Свод стопы не прослеживается, подсводное пространство отсутствует, а нагрузка распределяется на всю площадь стопы с акцентом на область ладьевидной и медиальной клиновидной костей, так как вся стопа пронирована (рисунок 2 г, е).



**Рисунок 2 – Контакт всей подошвы с опорной поверхностью:** а, в, д – здоровая и б, г, е – ПВДС (фотография, фотоплантограмма и педобарограмма, соответственно)

Третий компонент деформации – укорочение наружной и удлинение внутренней колонны стопы – также может прослеживаться в фазе полной нагрузки на стопу. Нагрузка распределяется на все структуры медиальной рессорной колонны стопы, в то время как латеральная (опорная) колонна не несёт нагрузку. В этой ситуации происходит пронация и распластывание стопы, что сопровождается удлинением внутренней колонны (рисунок 4).

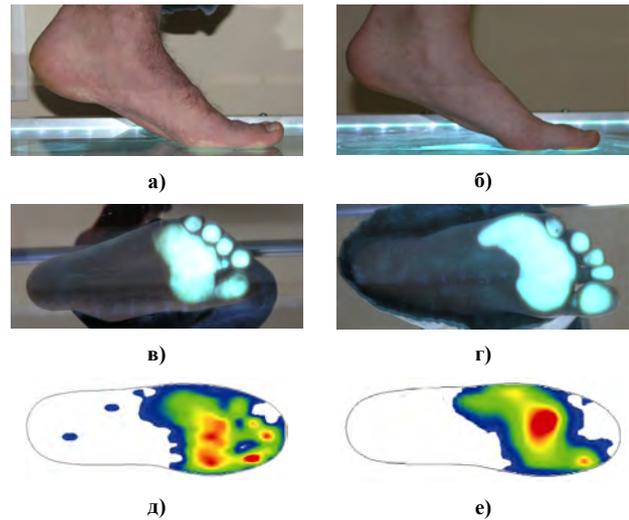


**Рисунок 3 – Контакт всей подошвы с опорной поверхностью – педобарограмма, иллюстрирующая укорочение наружной и удлинение внутренней колонны ПВДС**

Четвёртый компонент ПВДС – супинация переднего отдела стопы – проявляет себя в момент отрыва пятки от опорной поверхности и отталкивания (пропульсии) (рисунок 4). Во время пропульсии отмечается движение, называемое инверсией стопы, которое происходит в результате натяжения подошвенного апоневроза и напряжения трёхглавой мышцы голени, при этом в подтаранном суставе возникает варизирующее усилие. Вся пяточная кость совершает движение внутрь, в медиальном направлении, а таранная кость ротируется наружу.

При нормальном анатомическом строении стопы во время переката основная нагрузка и перемещение проекции центра тяжести происходит вдоль динамической оси стопы: от наружного края пятки вдоль 3 плюсневой кости, затем она проходит между 1 и 2 пальцами и заканчивается на кончике 1 пальца (Рисунок 4 в,д). При ПВДС опорный вектор перемещается на область головок 2-3 плюсневых костей (рисунок 4 г,е).

Указанные биомеханические нарушения меняют характер ходьбы, являются причиной усиления динамической нагрузки на весь опорно-двигательный аппарат, начиная со стопы и голеностопного сустава и заканчивая шейным отделом позвоночника [14].



**Рисунок 4 – Отрыв пятки от опорной поверхности:** а, в, д – здоровая и б, г, е – ПВДС (фотография, фотоплантограмма и педобарограмма, соответственно)

Таким образом, основными патологическими компонентами плоско-вальгусной деформации стопы, изменяющими биомеханику цикла шага, являются: 1 – в момент контакта пятки с опорной поверхностью – укорочение ахиллова сухожилия с наружным смещением точки прикрепления, подошвенное сгибание таранно – пяточно-ладьевидного блока; избыточная пронация в подтаранном суставе с вальгусным и наружно-ротационным отклонением пяточной кости по отношению к таранной; 2 – в момент соприкосновения всей подошвы стопы с опорной поверхностью, а затем и момент полной нагрузки на стопу – горизонтальное смещение головки таранной кости кнутри и вертикальное книзу по отношению к ладьевидной кости, укорочение наружной и удлинение внутренней колонны стопы, перерастяжение сухожилия задней большеберцовой мышцы и её функциональная недостаточность; 3 – в момент отрыва пятки от опорной поверхности и окончательного отрыва большого пальца от опорной поверхности – супинация переднего отдела стопы по отношению к заднему с разгибанием 1 плюсневой кости.

#### Выводы

1. Педобарометрическое обследование пациентов с плоско-вальгусной деформацией стоп является методом получения релевантных биометрических данных, позволяющих объективизировать диагностику деформации.
2. Клинически выделенные патологические компоненты плоско-вальгусной деформации стопы хорошо согласуются с получаемыми педобарографическими данными.

3. Предложенная группировка патологических компонентов плоско-вальгусной деформации стопы по фазам периода опоры цикла шага рациональна при проведении анализа педобарограмм.

#### *Литература*

1. Дерлятка, М. Биомеханика и коррекция дисфункции стоп: монография / М. Дерлятка, М.И. Игнатовский, В.В. Лашковский и др.; под науч. ред. А.И. Свириденка, В.В. Лашковского. – Гродно: ГрГУ, 2009. – 279 с.

2. Лашковский, В.В. К вопросу о продольном плоскостопии / В.В. Лашковский // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. – 2005. – №4(12). – С. 19-20.

3. Миронов, С.П. Клинический анализ движений – организационные, общие и методические аспекты / С.П. Миронов, А.И. Романов, В.К. Решетняк // Кремлѳская медицина. Клинический вестник. – 1999. – №4. – С. 1-12.

4. Мицкевич, В.А. Подиатрия / В.А. Мицкевич, А.О. Арсеньев. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 136 с.

5. Огурцова, Т. Метод обследования опорно-двигательного аппарата человека по отпечаткам стоп в динамике и синтез бионических стелек / Т. Огурцова // Реферат промоционной работы РГУ, 2006. – 87 с.

6. Свиридѳнок, А.И. Биомеханические аспекты развития современной подиатрии / А.И. Свиридѳнок, В.В. Лашковский // Биомеханика стопы человека: междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 18–19 июня 2008 г. / ГНУ НИЦПР НАНБ; редкол.: А.И. Свиридѳнок (отв. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2008. – С. 4-11.

7. Советский энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров; редкол.: А.А. Гусев [и др.]. – М.: Сов. Энциклопедия. – 1987. – 1600 с.

8. Besch, L. Dynamic and Functional Gait Analysis of Severely Displaced Intra-Articular Calcaneus Fractures Treated with a Hinged External Fixator or Internal Stabilization / L. Besch, B. Radke, M. Mueller [et al] // The journal of foot & ankle surgery. – 2008. – No 1, Vol. 47. – P. 19-25

9. Gaymera, C. Midfoot plantar pressure significantly increases during late gestation / C. Gaymera, H. Whalleya, J. Achtena [et al] // The Foot. – 2009. No 19. –P. 114-116.

10. Gravante, G. Plantar Pressure Distribution Analysis in Normal Weight Young Women and Men With Normal and Claw Feet: A Cross-Sectional Study / G. Gravante, F. Pomara, G. Russo [et al] // Clinical Anatomy. –2005. No 8. – P. 245-250.

11. Hughes, J. The clinical use of pedobarography / J. Hughes // Acta Orthopaedica Belgica. – 1993. – Vol. 59. – № 1. – P. 10-16.

12. Ihnatouski, M. Biomechanical analysis of anthropometric and functional zones on human plantar at walking / M. Ihnatouski, A. Sviridenok, V. Lashkovski, B. Krupicz // Acta mechanica et automatica. – 2008. – Vol. 2, No 4. – P. 19-23.

13. Jameson, E.G. Dynamic pedobarography for children: use of the center of pressure progression / E.G. Jameson, J.R. Davids, J.P. Anderson // J. Pediatr. Orthop. – 2008, Mar. № 28(2). – P. 254-258.

14. Levy, L.A. Principles and Practice of Podiatric Medicine / L.A. Levy, V.J. Hetherington. – New York, Edinburgh, London, Melbourne: Ch. Livingstone, 1990. – P. 39-106.

15. Michard, T.C. Foot orthoses and other forms of conservative foot care / T.C. Michard., – Williams & Wilkins, 1993. – 249 p.

*Поступила 05.02.10*