

## МЕТОД ПЕДОБАРОГРАФИИ В ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ХИРУРГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ НЕФИКСИРОВАННОГО ПЛОСКОСТОПИЯ У ДЕТЕЙ

Кошман Г. А. ([genkoshman@gmail.com](mailto:genkoshman@gmail.com)), Мармыш А. Г. ([dr.marmish@mail.ru](mailto:dr.marmish@mail.ru))

УО «Гродненский государственный медицинский университет», Гродно, Беларусь

*Цель исследования:* изучить диагностические возможности метода педобарографии в оценке функциональных результатов хирургической коррекции нефиксированного плоскостопия у детей.

*Материал и методы.* С 2009 по 2015 гг. выполнено 182 оперативных вмешательства для коррекции нефиксированного продольного плоскостопия по предложенной нами методике. Возраст пациентов на момент оперативного вмешательства составил от 5 до 16 лет ( $9,3 \pm 3,6$ ).

*Результаты.* После хирургической коррекции было выявлено достоверное снижение давления в зоне С (с 6 до 2%,  $p=0,0001$ ), увеличение давления в зонах А (с 17 до 21%,  $p=0,003$ ) и В (с 27 до 32%,  $p=0,0001$ ), увеличение фронтального динамического индекса (с 53,05 до 54,35,  $p=0,0005$ ).

*Выводы.* Метод педобарографии с учетом особенностей распределения подошвенного давления по выделенным зонам и расчетом фронтального динамического индекса позволяет дать объективную оценку функционального состояния стопы после выполнения корригирующих ортопедических вмешательств.

**Ключевые слова:** нефиксированное плоскостопие, педобарография, хирургическое лечение.

### Введение

Заболевания стопы у детей являются самой частой причиной обращения к ортопеду в амбулаторно-поликлинических учреждениях. Ведущая патология стопы у детей – продольное плоскостопие.

Термин «продольное плоскостопие» обычно ассоциируется с нефиксированной формой деформации стопы у детей, имеет множество синонимов, таких как плоско-вальгусная деформация стоп, пронированные стопы, вальгусные стопы, гипермобильное плоскостопие и др. В настоящее время большинством специалистов принято определение, что плоскостопие у детей представляет собой понижение продольного свода, сочетающееся с вальгусным отклонением пятки, абдукцией и супинацией переднего отдела стопы. Нефиксированная форма, в отличие от ригидной, характеризуется восстановлением продольного свода при отсутствии физиологической нагрузки на стопу.

Основным этиологическим фактором нефиксированной формы продольного плоскостопия у детей является избыточная эластичность капсульно-связочного аппарата стопы [1, 2, 3]. В процессе развития упругость капсульно-связочного аппарата стопы повышается параллельно снижению объема движений в суставах. Однако при имеющейся дисплазии соединительной ткани продольный свод остаётся низким из-за гиперэластичности связок, деформация становится патологической и со временем возникает болевой синдром в стопах и голених [4, 5]. Роль мышц в поддержании продольного свода в статике незначительна, они являются динамическими стабилизаторами продольного свода и включаются только при динамических нагрузках на стопу [6].

Таким образом, нефиксированное плоскостопие у детей – частая деформация, распространённость которой зависит от многих факторов. Если имеются признаки прогрессирования де-

формации и наличие симптомов в виде болей и усталости в нижних конечностях, необходимо проведение активных лечебных мероприятий, выбор которых является сложной и противоречивой задачей. До настоящего времени не существует однозначного мнения в подходах к диагностике и лечению деформации стоп у детей. Применяемые традиционно методы исследования стопы (рентгенография, плантография) не позволяют в достаточной мере оценить биомеханическую компенсацию нарушений во время движения. Отсутствуют достаточно объективные критерии для оценки функции стопы в норме и при ее патологических деформациях на ранних стадиях, а также методики, дающие возможность оценить степень корригирующего влияния ортопедических вмешательств на функцию стопы. Наиболее перспективным методом оценки биомеханики стопы признана педобарография, позволяющая выявлять нарушения распределения нагрузки на стопу не только при статической нагрузке, но и при ходьбе, устанавливая области ее перегрузки.

Таким образом, представляет клинический интерес изучить диагностические возможности педобарографии, выявить объективные критерии оценки функционального состояния стоп у детей с нефиксированным плоскостопием после его хирургической коррекции.

*Цель исследования:* изучить диагностические возможности метода педобарографии в оценке функциональных результатов хирургической коррекции нефиксированного плоскостопия у детей.

### Материал и методы

За период с июля 2009 г. по декабрь 2015 г. на базе ортопедо-травматологического отделения для детей УЗ «Городская клиническая больница скорой медицинской помощи г. Гродно» и УЗ «Гродненская областная детская клиническая больница» выполнены 182 оперативных вмешательства для коррекции нефиксированного про-

дольного плоскостопия по предложенной нами методике (Патент № 17723 от 01.08.2013 г.). Результаты хирургической коррекции плоскостопия проанализированы у 91 пациента (182 стопы), из них 60 мальчиков и 31 девочка. Возраст пациентов на момент оперативного вмешательства составил от 5 до 16 лет ( $9,3 \pm 3,6$ ). Все пациенты были разделены на три возрастные группы: от 5 до 7 лет (28 пациентов; 56 стоп), с 8 до 10 лет (37 пациентов; 74 стопы) и с 11 до 16 лет (26 пациентов; 52 стопы). У всех пациентов в возрастной группе с 5 до 7 лет, у 27 – в группе с 8 до 10 лет и у 8 – в группе с 11 до 16 лет наблюдался положительный тест Wynne-Davies. Срок наблюдений составил в среднем 2,9 года (от 3 месяцев до 5,8 лет). Оценка результатов оперативного лечения проводилась путём динамического наблюдения пациентов через 3, 6 и 12 месяцев после хирургической коррекции. У 25 пациентов (50 стоп) выполнено удаление металлоконструкций через 3 года после оперативного лечения ( $43,7 \pm 4,4$  месяца) с последующим средним периодом наблюдения в течение 17 месяцев (от 2 до 32 месяцев).

Для оценки взаимодействия стопы с опорой в статике и динамике использовался «Комплекс электронно-механический для диагностики патологии стоп» (КЭМ–ТУ РБ 500032863.001-2004), разработанный по заданию Министерства здравоохранения Республики Беларусь сотрудниками УО «Гродненский государственный медицинский университет» совместно с сотрудниками Научно-исследовательского центра проблем ресурсосбережения НАН Беларуси и Научно-инженерного центра «Плазмотег» ФТИ НАН Беларуси (патент РБ № 3374 «Механо-компьютерный комплекс для диагностики патологии стоп»), а также с помощью российского аналога «ДиаСлед-М».

Запись биомеханических параметров производили до оперативного вмешательства и после, через 6 и 12 месяцев.

Программное обеспечение комплекса позволяет анализировать следующие показатели:

- 1) характер распределения давления по зонам стопы;
- 2) изменение нагрузки по фазам цикла шага;
- 3) траекторию перемещения общего центра массы (ОЦМ).

Перед исследованием пациент знакомился с программой и целью исследования, после чего разрешалось пробно пройти привычной походкой. Это позволяло избежать скованности и нарушения привычной естественности ходьбы, что имело существенное значение для получения объективных данных исследования. 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 ОЦМ, после чего пациент делал от 6 до 12 шагов в обычном спокойном темпе. Ре-

гистрировались и анализировались шаги без изменения направления ходьбы, причем не менее 6 двойных шагов. На следующем этапе производилась аналитическая обработка, статистическая и графическая интерпретация полученных данных.

Для количественной оценки распределения подошвенного давления нами использовалось разделение стопы на 5 биомеханических зон (рис. 1):

А – пальцевая зона, соответствующая расположению фаланг пальцев;

В – метатарзальная зона, захватывающая плюснефаланговые суставы и проекцию механической оси переката стопы;

С, D – зоны срединной области, отграниченной линией Шопара, и разделенной продольной линией, проходящей от пяточного бугра через середину расстояния между головками 1 и 5 плюсневых костей на медиальную, или рессорную (С), и латеральную – опорную (D) части, отражающие состояние подтаранного сустава и возможности амортизационной составляющей;

Е – пяточная зона, являющаяся основной осевой опорой.

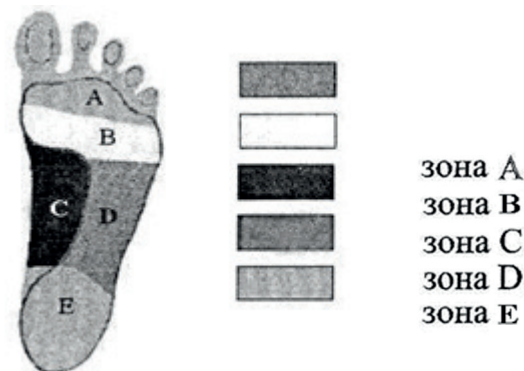


Рисунок 1. – Биомеханические зоны подошвенной поверхности стопы

По данным В. А. Мицкевича и соавт. [7], даже в нормальной стопе распределение нагрузки характеризуется большим разбросом параметров. В связи с этим мы рассчитывали удельную нагрузку (процентное распределение давления) по зонам стопы относительно всей стопы. Так как каждая из 5 выделенных зон характеризует разные функции стопы, увеличение или снижение (по сравнению с нормой) удельной нагрузки в определенной зоне указывает на нарушение тех или иных функций стопы.

Анализ структуры графиков интегральной нагрузки на стопу заключался в оценке ритмичности, плавности, выраженности переднего (пяткой) и заднего (носком) толчка, а также главного минимума нагрузки, при этом обращалось внимание на симметричность этих графиков. В норме график интегральной нагрузки должен иметь хорошо выраженные передний и задний толчки, а также главный минимум нагрузки (рис. 2).

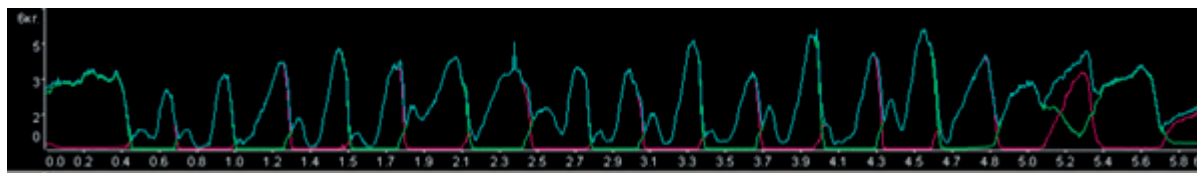


Рисунок 2. – График интегральной нагрузки

В норме траектория ОЦМ представляет собой незначительно выпуклую в латеральную сторону линию, проходящую вдоль продольной оси стопы от центра пятки до середины переднего отдела стопы, причём одинаковой формы для обеих стоп. При ходьбе траектория перемещения ОЦМ вырисовывает фигуру «бабочки». При плоскостопии наблюдается смещение траектории перемещения вектора ОЦМ в сторону медиального края стопы, причём форма траектории приближается к прямой линии.

При педобарографическом исследовании вальгусная деформация выявляется на основании смещения давления под стопой к ее внутренней стороне, увеличения нагрузки в области продольного свода и медиальной поверхности пятки.

Для количественной оценки выраженности вальгусной деформации стоп нами предложен фронтальный динамический индекс (ФДИ, формула). 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.

$$\text{ФДИ} = \frac{P_n}{P_n + P_m} \times 100\%$$

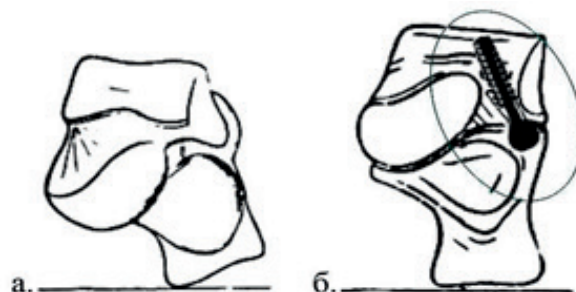
где  $P_n$  – давление в латеральной зоне стопы (кПа);

$P_m$  – давление в медиальной зоне стопы (кПа).

*Методика выполнения операции корригирующего латерального артрориза подтаранного сустава (КЛАПС)*

Показания к корригирующему латеральному артроризу подтаранного сустава: симптоматическая нефиксированная форма продольного плоскостопия 2-3 степени с вальгусным отклонением пяточных костей более  $7^\circ$  при безуспешности консервативного лечения, проводимого в течение 12 месяцев [8].

Коррекция деформации осуществляется, как правило, одновременно на обеих стопах. Схема операции представлена на рисунке 3. Направление костного канала должно быть таким, чтобы головка винта ложилась на верхнюю часть переднего отростка пяточной кости, таким образом, чтобы имплантируемая металлоконструкция создавала ограничение избыточной пронации в подтаранном суставе, т. е. перпендикулярно оси его движения в сагиттальной плоскости, но не в горизонтальной.



а. – гиперпронация подтаранного сустава приводит к медиальному смещению таранной кости и тыльно-наружному подвывиху в таранно-ладьевидном суставе;

б. – винт, расположенный в латеральной отростке, препятствует чрезмерному смещению таранной кости

Рисунок 3. – Схема операции

Далее производится рентген-контроль направления канала в двух проекциях при помощи электронно-оптического преобразователя. После рентген-контроля выполняется имплантация губчатого винта в тело таранной кости. Стопа во время имплантации удерживается в положении супинации. Степень коррекции определяется величиной погружения винта. Чем длиннее рабочая часть, тем больше супинация подтаранного сустава и, соответственно, выше продольный свод стопы.

После имплантации винта выполняется оценка объёма пронационно-супинационных движений в подтаранном суставе. Положением коррекции считается  $0^\circ$ , или нейтральное, т. е. когда вертикальная ось пятки и голени параллельны. Допускается вальгусное отклонение до  $4^\circ$ . Окончательная оценка положения винта осуществляется с помощью рентген-контроля (рис. 4).

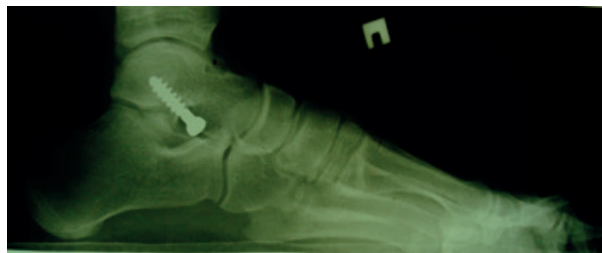


Рисунок 4. – Положение винта после имплантации

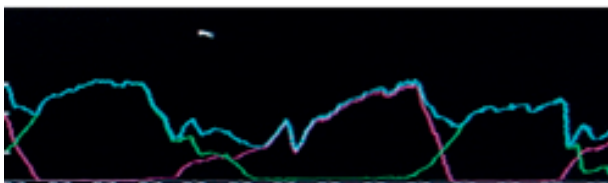
Одной из особенностей предлагаемого метода коррекции является отсутствие необходимости иммобилизации в послеоперационном

периоде. Пациенты начинают ходить с полной нагрузкой по мере уменьшения болевого синдрома, в среднем через 3 дня после операции. В раннем послеоперационном периоде нами наблюдалась супинационная установка стопы как проявление компенсаторной деформации при плоскостопии, которая постепенно корригировалась в процессе ремоделирования в течение 4-6 месяцев с момента операции. Реабилитационные мероприятия, включающие ЛФК, направленную на устранение супинации переднего отдела стопы и «растяжение» трёхглавой мышцы голени, массаж и электростимуляция мышц голени, аппликации парафина или озокерита на икроножные области.

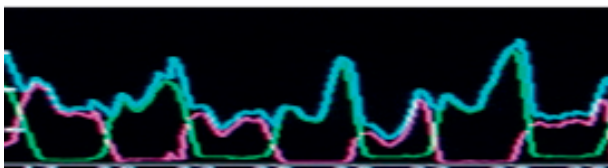
### Результаты и обсуждение

При анализе структуры графиков интегральной нагрузки у всех пациентов (100%) до операции было выявлено нарушение плавности графиков, снижения амплитуды заднего толчка, что свидетельствует о снижении рессорной функции стопы, а также нарушении ее толчковой функции, что связано с недостаточной супинацией подтаранного сустава в момент отталкивания.

После хирургической коррекции установлена положительная динамика в показателях интегральной нагрузки ( $p=0,00002$ ; критерий Вилкоксона). В частности, у 52 (57%) пациентов (104 стопы) отмечено восстановление характерной для нормы двугорбой кривой на графике интегральной нагрузки, в 24 (26%) случаях констатировано восстановление плавности графиков (рис. 5).



А



Б

А – до коррекции; Б – через 12 месяцев после КЛАПС

Рисунок 5. – Структура графиков интегральной нагрузки пациентки С. (7 лет) с диагнозом «двустороннее продольное плоскостопие»

При анализе распределения давления по подошвенной поверхности стопы наблюдалось достоверное снижение давления в зоне С после хирургической коррекции ( $p=0,0001$ ; критерий Вилкоксона) (рис. 6, табл. 1).

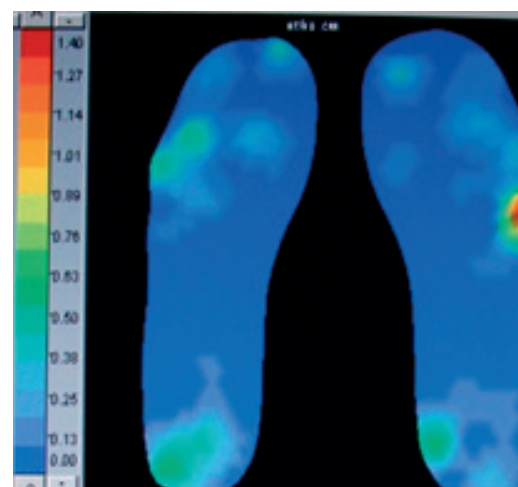
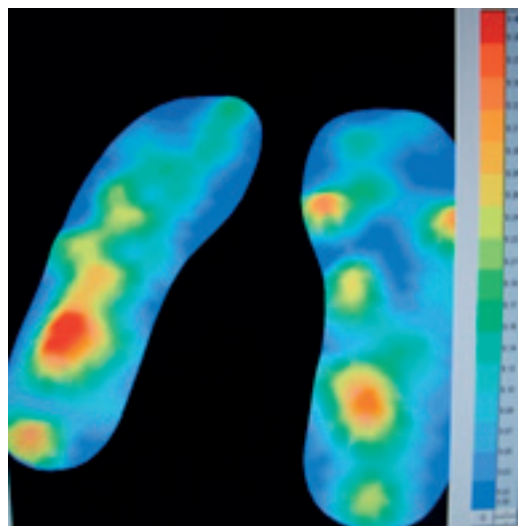


Рисунок 6. – Распределение нагрузок по подошвенной поверхности до КЛАПС и через 12 месяцев

В этой связи фронтальный динамический индекс статистически значимо увеличился ( $p=0,0005$ ; критерий Вилкоксона) у всех обследованных пациентов, что связано с повышением продольного свода и устранением угла вальгусного отклонения пятки (табл. 1).

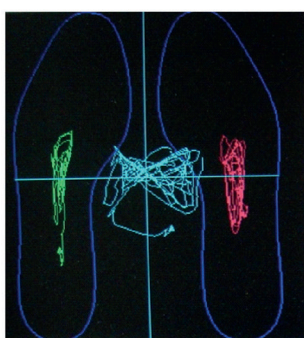
У детей до операции наблюдалось также снижение давления в переднем отделе стопы, что указывает на нарушение толчковой функции в связи с отсутствием достаточной упругости стопы. После КЛАПС давление в зонах А и В достоверно увеличилось, что является признаком восстановления толчковой функции стопы (табл. 1).

При оценке траектории перемещения ОЦМ и силы реакции опоры по опорной поверхности стопы у пациентов до операции отмечали их медиальное смещение во всех случаях (рис. 7).

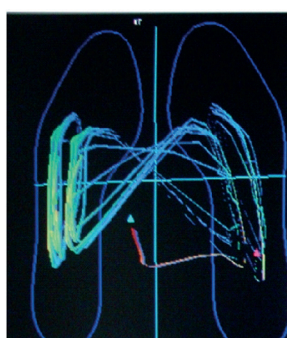
Данный факт свидетельствует о смещении давления в область внутреннего отдела отдела стопы, приводящем к перегрузке продольного свода. После выполненной хирургической коррекции установлено смещение траектории силы реакции опоры наружу и некоторое её закругление в переднем отделе у 65 (71%) пациентов. Смещение вектора силы реакции опоры латерально

**Таблица 1.** – Изменение давления по подошвенной поверхности стопы до оперативного лечения и через 12 мес., Ме (min/max)

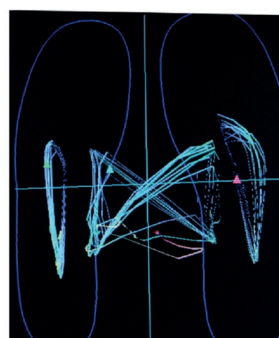
Зоны подошвенной поверхности	Давление до операции, % n=182	Давление после операции, % n=182	Уровень статистической значимости, p
Зона А	17 (15,4/18,1)	21 (16,3/22,5)	p=0,003
Зона В	27 (25,2/28,4)	32 (26,5/30,3)	p=0,0001
Зона С	6 (4,6/7,5)	2 (1,2/3,2)	p=0,0001
Зона D	19 (17,8/20,2)	21 (18,4/24,2)	p=0,004
Зона Е	32 (31,2/33,4)	34 (32,4/36,1)	p=0,001
ФДИ	53,05 (51,3/54,8)	54,35 (52,3/56,4)	p=0,0005



А.



Б.



В.

А – до операции; Б – через 6 месяцев; В – через 12 месяцев после КЛАПС

**Рисунок 7.** – Проекция вектора ОЦМ на подошвенную поверхность

было более выражено в раннем послеоперационном периоде (до 6 мес.), что связано с супинационной установкой стопы, которая затем устранилась в процессе ремоделирования стопы.

При сравнении педобарографических данных, полученных перед удалением винтов из таранной кости и после их удаления, не выявлено каких-либо статистически значимых отклонений в распределении давления по подошвенной поверхности стопы (табл. 2)

**Таблица 2.** – Распределение давления по подошвенной поверхности до удаления винтов и через 12 месяцев

Зоны подошвенной поверхности	Давление до удаления, %	Давление после удаления, %	Уровень статистической значимости, p
Зона А	18 (15,4/18,1)	18 (16,3/22,5)	p=0,3
Зона В	32 (25,2/28,4)	31 (26,5/30,3)	p=0,13
Зона С	1 (4,6/7,5)	2 (1,2/3,2)	p=0,19
Зона D	18 (17,8/20,2)	18 (18,4/24,2)	p=0,2
Зона Е	31 (31,2/33,4)	31 (32,4/36,1)	p=0,16
ФДИ	53,05 (51,3/54,8)	52,9 (52,3/56,4)	p=0,24

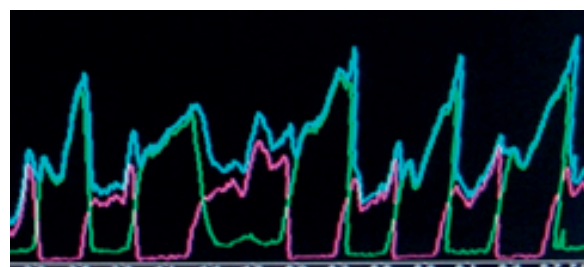
Не выявлено также существенных изменений в графиках интегральной нагрузки до и после удаления винта (рис. 8).

## Выводы

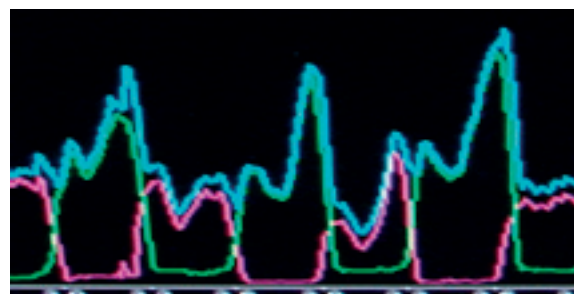
1. Разработанный способ хирургического лечения нефиксированного плоскостопия у детей позволяет эффективно корригировать патологическую деформацию стопы.

2. Метод педобарографии, включающий выделение 5 функциональных зон с определением в них удельной нагрузки в процентах к суммарной нагрузке на стопу, расчет фронтального динамического индекса позволяет осуществить объективную оценку опорной и толчковой функций стопы у детей с нефиксированным плоскостопием до и после выполнения корригирующих оперативных вмешательств.

3. Достоверное снижение давления в зоне С (с 6(4,6/7,5) до 2(1,2/3,2), p=0,0001) после хирургической коррекции, увеличение давления в зонах А (с 17 (15,4/18,1) до 21 (16,3/22,5), p=0,003) и В (с 27 (25,2/28,4) до 32 (26,5/30,3), p=0,0001), увеличение фронтального динамического индекса (с 53,05 (51,3/54,8) до 54,35 (52,3/56,4), p=0,0005) свидетельствует о восстановлении толчковой функции стопы и снижении давления в области продольного свода, что объективно подтверждает улучшение



А



В

А – до удаления металлоконструкций; Б – через 12 месяцев после удаления металлоконструкций

**Рисунок 8.** – График интегральной нагрузки

функционального состояния оперированной стопы.

4. Метод педобарографии с учетом особенностей распределения подошвенного давления по выделенным зонам (А, В, С, D, E) и расчетом

фронтального динамического индекса позволяет дать объективную оценку функционального состояния стопы после выполнения корригирующих ортопедических вмешательств.

### Литература

1. Relevant factors influencing flatfoot in preschool-aged children / K. C. Chen [et al.] // *Eur. J. Pediatr.* – 2011. – Vol. 170, № 7. – P. 931-936.
2. Flexible flatfoot and related factors in primary school children: a report of a screening study / O. El [et al.] // *Rheumatol. Int.* – 2006. – Vol. 26, № 11. – P. 1050-1053.
3. Mosca, V. S. Flexible flatfoot in children and adolescents / V. S. Mosca // *J. Child. Orthop.* – 2010. – Vol. 4, № 2. – P. 107-121.
4. Prevalence of flat foot among elementary school students, in rural and urban areas and at suburbs in Anatolia / A. Cetin [et al.] // *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* – Vol. 21, № 5. – P. 327-331.
5. Herring, J. A. Tachdjian's Pediatric Orthopaedics / J. A. Herring. – 4th ed. – Philadelphia : Saunders Elsevier, 2008. – Vol. 2. – P. 1054-1067.
6. The role of muscles in arch support of the foot: An electromyographic study / J. V. Basmajian [et al.] // *J. Bone Joint Surg. Am.* – 1963. – Vol. 45, № 6. – P. 1184-1190.
7. Мицкевич, В. А. Педиатрия / В. А. Мицкевич, А. О. Арсеньев. – Москва, 2006. – 136 с.
8. Клинико-биомеханическое обоснование артрориза подтаранного сустава при лечении детей с нефиксированной плоско-вальгусной деформацией стоп / Г. А. Кошман, В. С. Аносов, С. И. Болтрукевич, Л. З. Сычевский // *Журнал Гродненского государственного университета.* – 2011 – № 4. – С. 42-46.

### References

1. Chen KC, Yeh CJ, Tunq LC, Yanq JF, Yanq SF, Wanq CH. Relevant factors influencing flatfoot in preschool-aged children. *Eur. J. Pediatr.* 2011;170(7):931-936.
2. El O, Akcali O, Kosay C, Kaner B, Arslan Y, Sagol E, Soylev S, Lyidogan D. Flexible flatfoot and related factors in primary school children: a report of a screening study. *Rheumatol. Int.* 2006;26(11):1050-1053.
3. Mosca VS. Flexible flatfoot in children and adolescents. *J. Child. Orthop.* 2010;4(2):107-121.
4. Cetin A, Sevilis S, Karaoglu I, Yucekaya B. Prevalence of flat foot among elementary school students, in rural and urban areas and at suburbs in Anatolia. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* 2011;21(5):327-331.
5. Herring JA. Tachdjian's Pediatric Orthopaedics. 4th ed. Philadelphia: Saunders Elsevier; 2008. Vol. 2. p. 1054-1067.
6. Basmajian JV, Stecko G. The role of muscles in arch support of the foot: An electromyographic study. *J. Bone Joint Surg. Am.* 1963;45(6):1184-1190.
7. Mickevich VA, Arsenev AO. *Pediatrica. Moskva*; 2006. 36 p. (Russian).
8. Koshman GA, Anosov VS, Boltrukevich SI, Sychevskij LZ. Kliniko-biomechanicheskoe obosnovanie artro-rizy podtarannogo sustava pri lechenii detey s nefiksirovannoy plosko-valgusnoy deformatsiey stop. *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo universiteta* [Journal of the Grodno State Medical University]. 2011;4:42-46. (Russian).

## PEDOBAROGRAPHIC EVALUATION OF FUNCTIONAL RESULTS OF FLEXIBLE FLATFOOT SURGICAL CORRECTION IN CHILDREN

*Koshman G. A., Marmysh A. G.*

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

*The aim of the study was to evaluate the diagnostic potentials of pedobarography in assessment of functional results of flexible flatfoot surgical correction in children.*

*Material and methods. A total of 182 operations for flexible flatfoot correction using our own technique were performed from 2009 to 2015 years. The average age of the patients was 9.3±3.6 (from 5 to 16 years).*

*Results. A significant decrease of plantar pressure in zone C (from 6% to 2%, p=0.0001), an increase of plantar pressure in zones A (from 17% to 21%, p=0.003) and B (from 27% to 32%, p=0.0001) as well as an increase in the frontal dynamic index (from 53.05 to 54.35, p=0.0005) were observed after surgery.*

*Conclusion. Measurement of plantar pressure distribution in the suggested zones and calculation of the frontal dynamic index allow us to perform objective evaluation of functional outcomes after surgical correction of flexible flatfoot deformity.*

**Keywords:** flexible flatfoot, pedobarography, surgical correction.

Поступила: 11.09.2017

Отрецензирована: 13.10.2017