

## КОМПЬЮТЕРНАЯ ПЛАНТОГРАФИЯ КАК МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ВРОЖДЕННОЙ КОСОЛАПОСТИ У ДЕТЕЙ

© *Никитюк И.Е., Клычкова И.Ю.*

ФГБУ «НИДООИ им. Г. И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург

Исследование анатомофункционального состояния стоп у детей с врожденной косолапостью является актуальной задачей, решение которой имеет существенное теоретическое и практическое значение. Цель исследования — изучение с помощью методики компьютерной плантографии морфофункциональных параметров стопы для оценки степени нарушения ее опорной функции при врожденной косолапости. Были определены плантографические характеристики стоп с указанной патологией у 65 детей в возрасте от 4 до 16 лет. Проведена математическая обработка плантографических характеристик стоп: пяточно-осевого и пяточно-пучкового углов, угла между наружными касательными, на основании чего были определены границы значений угловых величин в зависимости от степени тяжести деформации стоп. Предложенный метод анализа плантограмм стоп статистически достоверен для классификации врожденной косолапости различной степени тяжести: легкой, средней и тяжелой, что является дополнением к клинико-рентгенологическому методу и позволяет оценивать опорную функцию стоп.

**Ключевые слова:** стопа, косолапость, плантография.

### Введение

Врожденная косолапость — один из наиболее сложных и распространенных пороков развития стопы у детей. Сложность и вариабельность анатомического строения стопы при врожденной косолапости в сочетании с нарушением ее опорной функции обуславливают необходимость использования комплексных подходов к ее диагностике и своевременной коррекции деформаций. Это является одним из важнейших мероприятий по предупреждению прогрессирования нарушений опорно-двигательного аппарата ребенка. Очень важна точная оценка функциональных параметров пораженной стопы. В первую очередь они касаются ее опорной функции [1]. Данные о корреляции опорной функции стопы с ее геометрическими особенностями актуальны для обеспечения выбора консервативного и оперативного лечения, проектирования и изготовления корригирующих приспособлений и изделий [2].

Необходимо учитывать, что при врожденной косолапости не всегда представляется возможным провести четкую грань между начальными стадиями деформации стопы и всеми вариантами нормы стопы, которые весьма многочисленны.

Этому способствуют колоссальная вариативность формы стопы, отсутствие четких представлений об анатомической и функциональной норме стопы, расплывчатость понятия о функциональной недостаточности стопы, а также сложность регистрации параметров функции стопы, которые связаны с ходьбой человека [3]. Поэтому сохраняет актуальность определение индивидуально-типологической изменчивости морфологии и функции интактной стопы. Скрининговые исследования морфофункционального состояния стопы требуют высокоточных современных программно-аппаратных комплексов, обеспечивающих визуализацию необходимых параметров стопы и обладающих значительной пропускной способностью [4]. В последнее время для диагностики состояния стоп успешно используется метод компьютерной плантографии [5], который учитывает статические и кинестатические деформации стопы в положении стоя. Компьютерная плантография дает объективное представление о тяжести деформации и не только позволяет отразить нарушение формы нагрузочного контура стопы, но и показывает распределение нагрузки на различные ее отделы.

В литературе описаны различные способы для объективной оценки состояния стопы по плантограммам, однако практически все они разработаны для случаев плоскостопия, в то время как единого метода плантографической оценки косолапости до сих пор еще не установлено. Поэтому исследование анатомофункционального состояния стоп у детей с врожденной косолапостью с использованием методики компьютерной плантографии является актуальной задачей, решение которой имеет существенное теоретическое и практическое значение. Эти обстоятельства послужили причинами выполнения настоящего исследования.

### Цель исследования

Изучение морфофункциональных параметров стопы у детей с врожденной косолапостью для оценки степени нарушения ее опорной функции в зависимости от выраженности ее структурных и функциональных нарушений.

### Материал и методы

Для оценки степени функциональных нарушений стопы у пациентов с врожденной косолапостью были определены плантографические характеристики стоп у 65 детей в возрасте от 4 до 16 лет. У 48 из них было двустороннее поражение стоп, у 17 — одностороннее; в 7 случаях — справа, в 10 — слева. Таким образом, было обследовано 113 стоп с различной степенью косолапости — легкой, средней и тяжелой. Контрольную группу составили 23 здоровых ребенка (46 стоп) того же возраста, которым было проведено аналогичное обследование стоп для определения зна-

чений плантографических характеристик в норме. Исследование опорной функции стопы проводили на аппаратуре стационарного клинического типа — программно-аппаратном комплексе диагностики патологии стоп «Подоскан», состоящем из сканера стоп, комплекта принадлежностей и персонального компьютера, регистрирующего и обрабатывающего информацию. Предварительная разработка методики диагностики степени косолапости методом плантографии основывалась на получении четкого представления о соотношении костей деформированной стопы с образованными ею подошвенными отпечатками. Для этого создавали 3D-модель плантограммы стопы путем совмещения по анатомическим ориентирам компьютерной плантограммы и объемной модели скелета стопы, полученной при мультиспиральной компьютерной томографии (рис. 1). При этом изображения дистальных фаланг I–V пальцев скелета стопы и пяточной кости совпадали с отпечатками соответственно подушечек I–V пальцев стопы и пятки.

Для совершенствования метода плантографического анализа врожденной косолапости нами использованы существующие методики расчета плантографических характеристик [6, 7], которые были модифицированы в применении к изучаемой патологии стоп. Анализ крайне тяжелых степеней косолапости с помощью метода плантографии не проводили, так как при наличии крайней степени выраженности деформации на полученных отпечатках стоп невозможно было выявить характерные идентификационные точки (рис. 2).

Алгоритм анализа плантограммы стопы заключается в следующем. На отпечатках стоп представляли идентификационные точки и соединяли их линиями (рис. 3, 4).

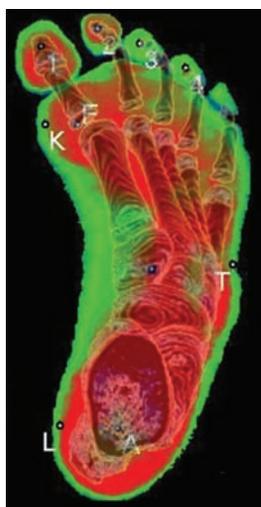
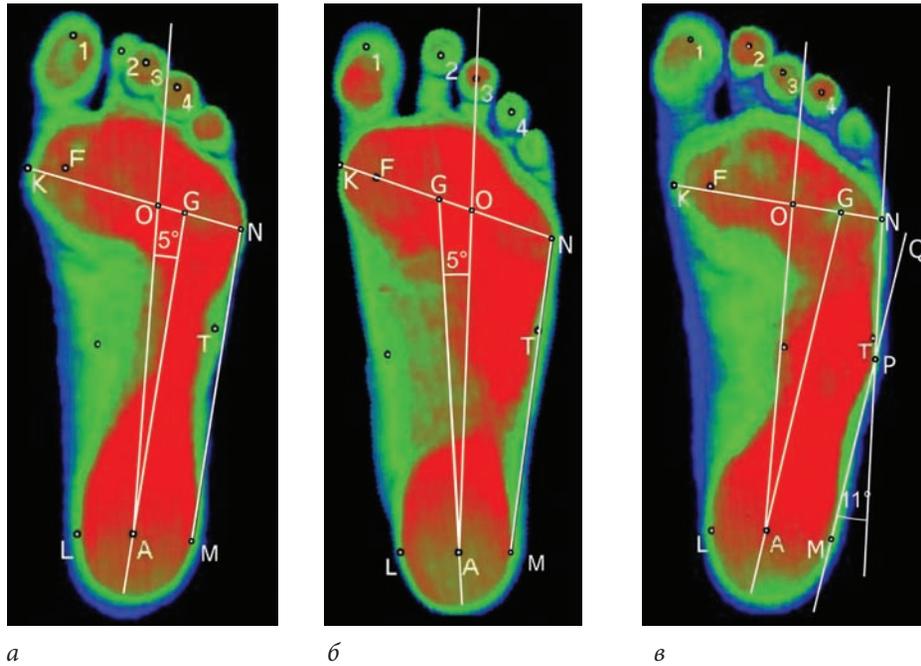


Рис. 1. 3D-модель плантограммы стопы при врожденной косолапости



Рис. 2. Плантограмма пациента с врожденной двусторонней косолапостью (слева — тяжелая степень, справа — крайне тяжелая степень)



**Рис. 3.** Варианты нормы угловых величин плантограмм: *a* — наружное расположение оси симметрии пятки по отношению к оси стопы; *б* — внутреннее расположение оси симметрии пятки по отношению к оси стопы; *в* — касательные к наружному отделу стопы образуют небольшой угол

1. Проводили касательные к наружной поверхности отпечатка стопы через точки **N** и **M** — наиболее выступающие точки наружного контура соответственно переднего и заднего отделов стопы.

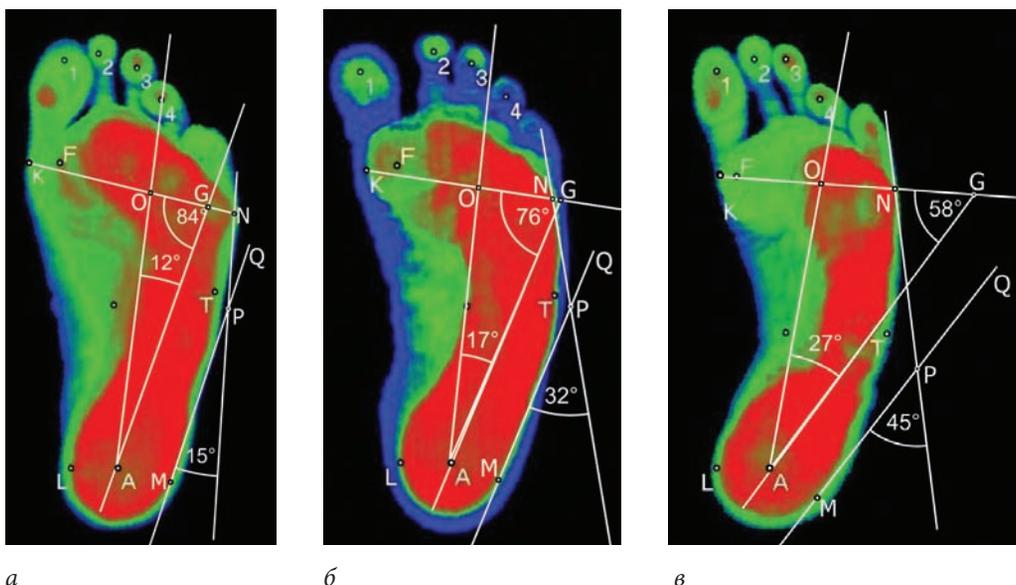
2. Проводили **линию поперечного свода стопы** — «пучковая» линия **KN**, соединяющая точки **N** и **K** — наиболее выступающие точки внутреннего контура переднего отдела стопы.

3. Проводили **ось стопы АО**, проходящую через точку **A** — центр отпечатка пятки и точку **O**, расположенную на линии поперечного свода стопы на расстоянии 40 % ее длины, считая от наружного контура плантограммы. Ось стопы **АО**

является линией отсчета для всех других построений при любой форме подошвенной поверхности стопы.

4. Проводилась **ось пятки AG**.

5. Измерялись угловые характеристики стоп:  
– угол **OAG** — **пяточно-осевой угол**, расположенный между осью стопы **АО** и осью симметрии пятки **AG**, характеризует не только истинное положение пятки в горизонтальной плоскости, но и общую конфигурацию и положение стопы. В рассматриваемом аспекте оценивается степень приведения заднего отдела стопы;



**Рис. 4.** Оценка степени тяжести косолапости по плантограммам: *a* — легкая степень (I); *б* — средняя степень (II); *в* — тяжелая степень (III)

- угол **AGK** — **пяточно-пучковый угол**, расположенный между осью симметрии пятки **AG** и пучковой линией **KN**, характеризует степень дугообразного искривления стопы в горизонтальной плоскости;
- угол **NPQ** — **угол между наружными касательными**, образованный касательными **NP** и **MQ**, характеризует степень приведения переднего отдела стопы.

6. На основании угловых характеристик стоп оценивались следующие параметры: 1) выраженность приведения переднего отдела стопы; 2) выраженность приведения заднего отдела стопы; 3) выраженность дугообразности стопы.

Статистический анализ результатов исследований проводили с помощью пакета статистических программ Microsoft Excel, который включал расчет среднего арифметического вариационных рядов  $M$ , их среднеквадратичного отклонения  $m$  и 95 % доверительного интервала. Пороговый уровень статистической значимости принимался при значении критерия  $p < 0,05$ .

## Результаты

На плантограммах нормальных стоп здоровых детей касательные, проведенные через наиболее выступающие точки наружного контура переднего и заднего отделов стопы, как правило, сливаются в одну общую касательную — линию **NM**, при этом в среднем отделе контур отпечатка — вогнутый и не выступает за эту линию (рис. 3, а). Вариантом нормы является строение стопы, когда ее наружный край на отпечатке в среднем от-

деле либо приближается к общей касательной (рис. 3, б), либо между касательными образуется угол (рис. 3, в), средняя величина которого незначительная —  $(0,1 \pm 0,11)^\circ$ .

Ось стопы **AO** в большинстве случаев проходит между проекциями головок III и IV плюсневых костей. Ось симметрии пятки **AG**, по нашим данным, чаще проходит кнаружи от оси стопы — 57 % наблюдений (см. рис. 3, а), поэтому показатели пяточно-осевого угла **OAG** обозначены знаком «плюс». Реже, в 43 % наблюдений, эта линия проходит кнутри от оси стопы (см. рис. 3, б), в этих случаях величины пяточно-осевого угла приведены со знаком «минус».

Данные с параметрами плантографических характеристик у здоровых детей представлены в табл. 1.

Результаты, приведенные в табл. 1, явились отправными данными для сравнительной оценки угловых величин плантографических характеристик при различных степенях косолапости.

На плантограммах стоп при врожденной косолапости наружный контур отпечатка выражено закруглен, выдается во внешнюю сторону, крутизна искривления контура коррелирует со степенью тяжести косолапости (рис. 4).

Провести общую касательную ко всему наружному краю отпечатка вследствие его дугообразного искривления не удалось ни в одном случае. Касательные **NP** и **MQ** образуют между собой угол значительной величины. При этом происходит взаимное смещение линии поперечного свода стопы **KN** и оси пятки **AG**, приводящее к уменьшению пяточно-пучкового угла **AGK**, которое

Плантографические характеристики стоп здоровых детей

Таблица 1

Плантографические характеристики	Значения угловых величин ( $M \pm m$ )		
	Кнутри от оси стопы	Кнаружи от оси стопы	Среднее значение
Пяточно-осевой угол (по отношению к оси) ( $^\circ$ )	$-2,4 \pm 0,21^*$	$+2,3 \pm 0,42^*$	$-0,1 \pm 0,11^*$
Пяточно-пучковый угол ( $^\circ$ )	$101,8 \pm 0,91^*$		
Угол между наружными касательными ( $^\circ$ )	$6,1 \pm 0,39^*$		

\* обозначены достоверно изменяющиеся показатели с достоверностью  $p < 0,05$  по сравнению с аналогичными показателями при косолапости.

Плантографические характеристики стоп детей с врожденной косолапостью

Таблица 2

Плантографические характеристики	Значения угловых величин ( $M \pm m$ )		
	Степень тяжести косолапости		
	легкая	средняя	тяжелая
Пяточно-осевой угол (по отношению к оси стопы) ( $^\circ$ )	$+13,6 \pm 2,21$	$+18,9 \pm 0,34^*$	$+23,3 \pm 0,68^*$
Пяточно-пучковый угол ( $^\circ$ )	$88,9 \pm 1,21^*$	$76,6 \pm 0,90^*$	$66,5 \pm 1,04^*$
Угол между наружными касательными ( $^\circ$ )	$12,8 \pm 1,10^*$	$31,9 \pm 1,38^*$	$40,6 \pm 1,16^*$

\* обозначены достоверно изменяющиеся показатели с достоверностью  $p < 0,05$  по сравнению с аналогичными показателями при других степенях косолапости.

Клинические границы угловых величин плантографических характеристик стоп у детей с врожденной косолапостью

Плантографические характеристики	Норма (°)	Степени тяжести косолапости		
		легкая (°)	средняя (°)	тяжелая (°)
Пяточно-осевой угол (по отношению к оси стопы)	-5 – +10	+10 – +15	+15 – +20	+20 – +30
Пяточно-пучковый угол	105–100	100–85	85–75	75–55
Угол между наружными касательными	0–10	10–20	20–30	30–50

обратно коррелирует с увеличением степени тяжести косолапости. Сама ось пятки при всех степенях косолапости проходила снаружи по отношению к оси стопы **АО** (табл. 2).

Из таблицы 2 видно, что показатели плантографических характеристик при косолапости достоверно отличаются от аналогичных параметров, присущих нормальных стопам. При этом также достоверны различия между средними значениями угловых величин при различных степенях тяжести косолапости, за исключением отсутствия статистических отличий значений пяточно-осевых углов **OAG** при легкой и средней степени деформации (соответственно  $+13,6 \pm 2,21$ ° и  $+18,9 \pm 0,34$ °). Это может объясняться тем, что при легкой степени косолапости среднее квадратическое отклонение *m* значения пяточно-осевого угла имеет очень большую величину по сравнению со средним арифметическим *M*, и это указывает на существенный разброс значений рассматриваемой плантографической характеристики.

Проведенный математический анализ показывает, что плантографические характеристики у детей с врожденной косолапостью достоверно различаются по степени тяжести патологии. В связи с этим для удобства практического использования предложены условные клинические границы угловых величин плантографических характеристик у детей с врожденной косолапостью в зависимости от степени тяжести деформации (табл. 3).

Предложенная методика расчета плантографических характеристик позволяет достоверно выявлять косолапость при скрининге, а также оценивать эффективность и отдаленные результаты восстановительного лечения косолапости, что особенно ценно при диагностике функции стопы после хирургических вмешательств.

## Выводы

1. Предложенная методика анализа отпечатков стоп обладает высокой разрешающей способностью и позволяет уточнить и объективизиро-

вать степень нарушения опорной функции стопы (легкая, средняя, тяжелая) при врожденной косолапости.

2. Выявленные морфофункциональные особенности стопы у детей с врожденной косолапостью зависят от выраженности ее анатомических нарушений, которые оцениваются на основании угловых характеристик стоп и показывают значительные отклонения от нормы.

3. Использованный метод диагностики с математической обработкой плантографических характеристик статистически достоверен для классификации врожденной косолапости различной степени тяжести, что не только является информативным дополнением к клинко-рентгенологическому методу, но и позволяет оценивать опорную функцию стоп.

## Список литературы

1. Wong RA, Lusard MM. Evidence-based approach to ortotic and prosthetic rehabilitation. *Ortotics and Prosthetic in Rehabilitation*. Elsevier: 2007;109-134.
2. O'Connor K, Bragdon G, Baumhauer JF. Sexual dimorphism of the foot and ankle. *Orthop Clin North Am*. 2006;37(4):569-574. doi:10.1016/j.jocl.2006.09.008.
3. Krishan K, Kanchan T, Sharma A. Sex determination from hand and foot dimensions in a North Indian population. *J Forensic Sci*. 2011;56(2):453-459. doi:10.1111/j.1556-4029.2010.01652.x.
4. Перепелкин А.И., Мандриков В.Б., Краюшкин А.И. Влияние дозированной нагрузки на изменение структуры и функции стопы человека: монография. – Волгоград: Изд-во Волг. ГМУ, 2012. [Perpelkin AI, Mandrikov VB, Krayushkin AI. Vliyanie dozirovannoi nagruzki na izmenenie struktury i funktsii stopy cheloveka: Monografiya. Volgograd: Izd-vo Volg. GMU, 2012. (In Russ).]
5. Краюшкин А.И., Перепелкин А.И., Смаглюк Е.С., Сулейманов Р.Х. Характеристика анатомофункциональных параметров стоп юношей с использованием компьютерной плантографии // Вестник новых медицинских технологий. – 2011. – № 2. – С. 258. [Krayushkin AI, Perepyolkin AI, Smaglyuk YeS, Suleimanov RH. The characteristics of anatomical and functional parameters of young men's feet with by means of computer plantography. *Journal of New Medical Technologies*. 2011;(2):258. (In Russ).]

6. Клычкова И.Ю. Система комплексного лечения детей с врожденной косолапостью: дис. ... д-ра мед. наук. СПб., 2013. 432 с. [Klychkova I.Y. Sistema kompleksnogo lecheniya detei s vrozhdennoi kosolapost'yu [dissertation]. Saint-Petersburg; 2013:432. (In Russ).]
7. Наумочкина Н.А., Никитюк И.Е. Вовлечение спинного мозга в патологический процесс при родовых повреждениях плечевого сплетения (биомеханическое исследование) // Врач-аспирант. – 2013. – № 1.3 (56). – С. 388–396. [Naumochkina NA, Nikityuk IE. Involvement of spinal cord into pathological process in childbirth brachial plexus injury (biomechanical study). *Vrach-aspirant*. 2013;1.3(56):388-396. (In Russ).]

## COMPUTER PLANTOGRAPHY AS A DIAGNOSTIC METHOD FOR CONGENITAL CLUBFOOT IN CHILDREN

*Nikityuk I.E., Klychkova I.Y.*

The Turner Institute for Children's Orthopedics, Saint-Petersburg, Russian Federation

Examination of the anatomical and functional states of feet in children with congenital clubfoot is an urgent priority that has significant theoretical and practical value. The purpose of the study was to investigate the morphological and functional parameters of the foot to evaluate the degree of affection of its support function in congenital clubfoot using the technique of computer plantography. Plantographic characteristics of the feet were determined in 65 children with this disorder, aged from 4 to 16 years. The mathematical processing of plantographic characteristics of the feet was performed using the following; the calcaneo-axial

and the calcaneo-metatarsal angles and the angle between the outer tangents on the basis of what were defined border values of angles, depending on the severity of foot deformities. The proposed method of analysis of the foot plantogram is statistically significant for the classification of congenital clubfoot with different degrees of severity: mild, moderate, and severe. This technique is an addition to the clinical and X-ray methods and allows the evaluation of functional support for the feet.

**Keywords:** foot, clubfoot, plantography.

---

### Сведения об авторах

**Никитюк Игорь Евгеньевич** — к. м. н., ведущий научный сотрудник лаборатории физиологических и биомеханических исследований ФГБУ «НИДООИ им. Г. И. Турнера» Минздрава России. E-mail: femtotech@mail.ru.

**Клычкова Ирина Юрьевна** — д. м. н., заведующая отделением патологии стопы, нейроортопедии и системных заболеваний ФГБУ «НИДООИ им. Г. И. Турнера» Минздрава России. E-mail: Klychkova@yandex.ru.

**Nikityuk Igor Evgenievich** — MD, PhD, leading research associate of the laboratory of physiological and biomechanical research. The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics. E-mail: femtotech@mail.ru.

**Klychkova Irina Yurievna** — MD, PhD, professor, chief of the department of foot pathology, neuroorthopedics and systemic diseases. The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics. E-mail: klychkova@yandex.ru.