



Научная статья  
УДК 617.588-089.844+617.586-071  
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-1784>



## Оценка состояния стопы после заимствования некровоснабжаемых фаланг пальцев для аутотрансплантации на кисть

П.А. Матвеев<sup>1</sup>, И.В. Шведовченко<sup>1</sup>, Л.М. Смирнова<sup>1,2</sup>, А.А. Кольцов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта» Минтруда России, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)» Минобрнауки России, г. Санкт-Петербург, Россия

**Актуальность.** Аутотрансплантация некровоснабжаемых фаланг пальцев стопы является одним из доступных методов реконструктивно-пластической хирургии для лечения недоразвитий кисти. Актуален вопрос влияния заимствования фаланг на внешний вид и функциональность донорской стопы в отдаленном периоде.

**Цель** — объективная оценка внешнего вида, формы и функционального состояния стопы в отдаленном периоде после заимствования некровоснабжаемых фаланг пальцев и последующей пересадки для замещения дефекта пальцев кисти при врожденных и приобретенных патологиях.

**Материал и методы.** Обследовано 40 пациентов, которым в возрасте от 8 мес. до 11 лет были выполнены в совокупности 54 пересадки фаланг по поводу редукционных аномалий кисти. В качестве трансплантата использовали проксимальные или средние фаланги IV и II пальцев стопы. Для оценки состояния стоп в отдаленном периоде всем пациентам проводили клинико-рентгенологические исследования. 12 пациентам в возрасте от 3 до 13 лет проведены компьютерные плантография, подометрия и бародинамоплантография.

**Результаты.** При осмотре стоп оперированных пациентов в отдаленном периоде у многих было выявлено линейное укорочение донорских пальцев стопы по сравнению с контралатеральной стопой, что для доказательности фиксировали компьютерным планто-подометрическим методом. Бародинамоплантографическое исследование не показало значимых признаков снижения опороспособности стопы, которые можно было бы связать с пересадкой некровоснабжаемой фаланги пальца стопы. При ходьбе не наблюдалось явных признаков нарушения двигательных функций оперированной стопы.

**Заключение.** Объективно подтверждено, что заимствование некровоснабжаемых фаланг пальцев стопы для их последующего перемещения на кисть не оказывает существенного влияния на форму и статодинамическую функцию стопы в отдаленном периоде наблюдения, несмотря на укорочение донорских пальцев стопы.

**Ключевые слова:** кисть, пороки развития, аутотрансплантация, свободная костная пластика, транспозиция фаланги, пальцы стопы, некровоснабжаемый трансплантат, биомеханическое исследование, дети.

Матвеев П.А., Шведовченко И.В., Смирнова Л.М., Кольцов А.А. Оценка состояния стопы после заимствования некровоснабжаемых фаланг пальцев для аутотрансплантации на кисть. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(3):49-62. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1784>.

✉ Матвеев Павел Андреевич; e-mail: p-matveyev@narod.ru

Рукопись получена: 04.06.2022. Рукопись одобрена: 26.07.2022. Статья опубликована: 12.09.2022.

© Матвеев П.А., Шведовченко И.В., Смирнова Л.М., Кольцов А.А., 2022



## Assessment of the Foot Donor Site Morbidity After Non-Vascularized Toe Phalanx Transfer to the Hand

Pavel A. Matveev<sup>1</sup>, Igor V. Shvedovchenko<sup>1</sup>, Lyudmila M. Smirnova<sup>1,2</sup>,  
Andrey A. Koltsov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Albrecht Federal Scientific Centre of Rehabilitation of the Disabled, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> St. Petersburg Electrotechnical University «LETI» named after V.I. Ulyanov (Lenin), St. Petersburg, Russia

**Background.** Non-vascularized is one of the available methods of reconstructive surgery for the treatment of the hand congenital anomalies. The the impact of toe phalanx transfer on the appearance and functionality of the donor site in the long term is relevant.

**Aim of the study** – an objective assessment of the appearance, shape and functional state of the foot in the long-term period after the toe phalanx transfer into defects of the fingers in congenital and obtained hand pathologies.

**Methods.** On the basis of the Federal Scientific Center for the Rehabilitation of the Disabled named after G.A. Albrecht 40 patients were examined, who, aged from 8 months to 11 years (in the period 2013-2022), underwent 54 toe phalanx transfer to the hand. The proximal or middle phalanx of the IV and II toes were used as a graft. To assess the condition of the feet in the long term, all patients underwent clinical and radiological studies. 12 patients aged 3 to 13 years underwent computerized plantography, podometry and barodynamoplantography.

**Results.** After donor feet examination in the long-term period, lots of them showed a linear shortening of the donor toes compared to the contralateral foot, which was recorded by a computer planto-podometric method for evidence. The barodynamoplantographic study did not show significant signs of a decrease in the support ability of the foot, which could be associated with non-vascularized toe phalanx transfer. When walking, there were no obvious signs of impaired motor functions of the donor foot.

**Conclusion.** It was objectively confirmed that the non-vascularized toe phalanx transfer to the hand does not significantly affect the shape and statodynamic function of the foot in the long-term follow-up period, despite the shortening of the donor toes.

**Keywords:** hand, congenital anomalies, autografts, free bone grafting, phalanx transfer, toes, non-vascularized graft, biomechanical examination, children.

**Cite as:** Matveev P.A., Shvedovchenko I.V., Smirnova L.M., Koltsov A.A. [Assessment of the Foot Donor Site Morbidity After Non-Vascularized Toe Phalanx Transfer to the Hand]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2022;28(3):49-62. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-1784>.

✉ Pavel A. Matveev; e-mail: p-matveyev@narod.ru

Submitted: 04.06.2022. Accepted: 26.07.2022. Published: 12.09.2022.

© Matveev P.A., Shvedovchenko I.V., Smirnova L.M., Koltsov A.A., 2022

## ВВЕДЕНИЕ

В мировой литературе известны различные методы реконструктивно-пластической хирургии, используемые при лечении врожденных недоразвитий (брахидактилии, эктродактилии, гипоплазии) и приобретенных деформаций кисти, характеризующихся уменьшением линейных и объемных параметров, а также количества сегментов кисти, что приводит к значительным функциональным и косметическим нарушениям верхней конечности [1]. К методам реконструкции относят микрохирургию [2], компрессионно-дистракционный остеосинтез [3, 4, 5, 6], различные виды кожной, сухожильно-мышечной и костной пластики [6, 7], а также протезирование [8]. Вместе с тем известен менее распространенный, но эффективный и доступный для восстановления функциональных возможностей и косметического состояния кисти вариант костной пластики — аутотрансплантация некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы [9, 10, 11, 12].

Метод аутотрансплантации некрвоснабжаемых фаланг пальцев стоп получил известность в начале XX в., когда деформированные на фоне последствий туберкулезной инфекции или энхондромы фаланги пальцев кисти резецировали и замещали некрвоснабжаемыми фалангами пальцев стоп, а в образовавшиеся дефекты донорских участков пальцев стоп внедряли трансплантаты из реберного хряща. Через год при контрольном обследовании пациентов авторы не выявляли грубых косметических и функциональных дефектов донорских пальцев стоп и реципиентных пальцев кисти, на выполненных рентгенограммах положение костных трансплантатов было удовлетворительным, суставные концы в сформированных пальцах были конгруэнтны, признаков резорбции не отмечалось [9, 10]. О новых случаях реконструкции пальцев кисти с помощью фаланг пальцев стопы упоминали М.А. Entin, затем R.E. Carroll и D.P. Green, N.H. Goldberg и H. Kirk-Watson [11, 12, 13].

Метод аутотрансплантации некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы при врожденных недоразвитиях кисти получил более широкую известность в 1990 г. после публикации D. Buck-Gramcko результатов исследования 57 пациентов, которым с 1976 г. было выполнено 97 трансплантаций фаланг [14, 15].

Постепенно появились новые исследования результатов применения пересадки некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы на кисть, согласно которым следовало следующее: аутотрансплантация некрвоснабжаемых пальцев стопы при недоразвитиях кисти позволяет улучшить ее внешний вид

и функцию [16, 17, 18, 19], обеспечивает возможность для роста пальца за счет зоны роста перемещенной фаланги [18, 20, 21, 22], отличается низкой травматичностью для донорской стопы [16, 22, 23], минимальным риском рассасывания пересаженного трансплантата [21, 22, 23, 24].

Вместе с тем остается актуальным вопрос влияния пересадки фаланг в отдаленном периоде на внешний вид и функциональность донорской стопы. Известен ряд публикаций, в которых представлены результаты клинических исследований донорских стоп пациентов после заимствования некрвоснабжаемых фаланг [16, 17, 22, 25]. В ряде случаев были выявлены укорочение, «гибкость» и нестабильность донорских пальцев стопы. При этом ни в одном источнике нами не обнаружено сведений о проведении исследования стоп, которое позволяло бы объективно (с применением инструментальных методов) оценить, насколько пересадка фаланги влияет на изменение формы и функции стопы после заимствования фаланг для аутотрансплантации на кисть.

*Цель* — объективная оценка внешнего вида, формы и функционального состояния стопы в отдаленном периоде после заимствования некрвоснабжаемых фаланг пальцев и последующей пересадки для замещения дефекта пальцев кисти при врожденных и приобретенных патологиях.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

### Дизайн исследования

В клинике ФГБУ «Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта» Минтруда России проведено проспективное одноцентровое наблюдательное исследование влияния заимствования некрвоснабжаемых фаланг пальцев (для пересадки в дефект пальцев кисти) на анатомо-функциональное состояние стопы.

### Пациенты

Обследовано 40 пациентов (21 мальчик и 19 девочек), которым в возрасте от 8 мес. до 11 лет (до 1 года — 2 ребенка, от 1 до 3 лет — 22, от 3 до 7 лет — 11, от 7 до 11 — 5) в период 2013–2022 гг. были выполнены в совокупности 54 пересадки фаланг по поводу недоразвития (эктродактилии, брахидактилии, гипоплазии) и приобретенных деформаций кисти. Для пересадки использовали проксимальные или средние фаланги IV или II пальцев стопы, ориентируясь на линейные и объемные размеры предполагаемого дефекта в реципиентных зонах (табл. 1). В таблице 2 указано распределение реципиентных зон у пациентов по локализации на кисти.

Таблица 1

**Распределение донорских зон при пересадке некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы на кисть**

Палец стопы	Локализация донорских зон		Всего
	Проксимальные фаланги	Средние фаланги	
II	2	7	9
IV	26	19	45
Всего	28	26	54

Таблица 2

**Локализация реципиентной зоны при пересадке некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы на кисть**

Луч кисти	Локализация реципиентных зон			Всего
	Пястные кости	Проксимальные фаланги	Средние фаланги	
I	8	8	–	16
II	–	5	7	12
III	–	6	4	10
IV	–	3	6	9
V	–	5	2	7
Всего	8	27	19	54

**Оценка результатов**

Для оценки состояния стоп в отдаленном периоде мы использовали клинический осмотр, опросник Oxford Ankle Foot Questionnaire Children (OAFQ-C) для субъективной оценки пациентом его стопы после выполнения операции и выявления жалоб на нарушение опороспособности [26, 27], рентгенологическое исследование. Отдаленный период наблюдения составлял от 1 до 8 лет после операции (49 из 54 случаев заимствования фаланг пальцев стопы), в среднем — 3,04±1,20 лет, до 3 лет — 18 случаев, от 3 до 6 лет — 28, от 6 лет и более — 3 случая.

Двенадцати пациентам в возрасте 3 лет и старше со сроком перенесенной операции не менее 6 мес. перед обследованием были проведены инструментальные исследования [28]:

– компьютерные плантография и подометрия методом трехкоординатного оптического планшетного сканирования стоп на программно-аппаратном комплексе (ПАК) «Скан» (регистрационное удостоверение № ФСР 2010/07441 от 22.04.2010) с расчетом параметров, отражающих форму стопы;

– для оценки статодинамической функции стопы — бародинамоплантография на ПАК с матричными измерителями давления под стопами в форме стелек ПАК «ДиаСлед» (регистрационное удостоверение № ФСР 2009/06416 от 26.02.2010).

Среди 12 пациентов 4 ребенка перенесли ранее пересадку фаланг обеих стоп. Одному пациенту трансплантировали основные фаланги IV пальцев; двум — средние фаланги IV пальцев; одному — основную фалангу IV пальца левой стопы и среднюю фалангу IV пальца правой стопы; одной пациентке выполнили аутотрансплантацию средней фаланги II пальца правой стопы; трем — основной фаланги IV пальца стопы; семи — средней фаланги IV пальца стопы. При этом одной пациентке плантографию и подометрию проводили дважды: первый раз — через 1 год после пересадки средней фаланги IV пальца правой стопы, повторно — через 2 года после обследования и через 1 год после пересадки средней фаланги IV пальца левой стопы.

Методом бародинамоплантографии с использованием ПАК «ДиаСлед» в статике (стоя) и при ходьбе в стандартной обуви проводили исследование влияния аутотрансплантации некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы на статодинамическую функцию стопы. С учетом имевшегося в нашем распоряжении типоразмерного ряда измерительных сенсоров в виде стелек с датчиками давления были проведены обследования пациентов с размером стопы не менее 190 мм. В связи с этим число обследованных на комплексе «ДиаСлед» составило 7 пациентов из группы 12 детей, которым была выполнена планто-

дометрия. Измерительные сенсоры вкладывали в обувь для обследования, минимально влияющую на функции стопы.

### Статистический анализ

Описательные статистики количественных показателей рассчитывались с использованием системы IBM SPSS Statistics 23.0 по всему традиционному набору характеристик: среднее значение, разброс данных (стандартное отклонение), минимум, максимум, медиана и квартили, а также коэффициенты вариации исследуемых признаков по группе пациентов, обследованных биомеханическими методами.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

При осмотре внешнего вида стоп у 40 оперированных пациентов произведено распределение на 4 группы по степени укорочения донорских пальцев в сопоставлении с контралатеральной стопой (рис. 1). У 78% детей с отсутствием укорочения донорских пальцев либо незначительным укорочением заимствовали среднюю фалангу II или IV пальца стопы. В группе пациентов с умеренным укорочением донорского пальца стопы (8 детей)

у одного ребенка выполнили пересадку средней фаланги II пальца стопы, у остальных — проксимальных фаланг II (1 человек) или IV пальцев стопы (6 пациентов). Всем 11 детям с выраженным укорочением пальца стопы (более чем на одну ногтевую пластинку) ранее заимствовали основную фалангу IV пальца стопы.

Распределение 49 случаев по степени укорочения донорских пальцев стопы после заимствования некророснабжаемых фаланг для трансплантации на кисть следующее: отсутствие укорочения — 12 (24,5%); минимальное укорочение — 18 (36,7%); умеренное — 8 (16,3%); выраженное — 11 (22,5%) пациентов.

### Оценка по опроснику

Несмотря на отмечаемое укорочение пальцев стопы, никто из пациентов и их родителей не выразил сожаления из-за выполненной операции и не отметил видимых изменений походки после проведенного лечения. В ходе анкетирования по опроснику The Oxford Ankle Foot Questionnaire родители 4 детей (одного мальчика 1 года и трех девочек 6–10 лет) отметили, что их немного смущает внешний вид стопы.



**Рис. 1.** Условное разделение стоп на группы при оценке степени укорочения донорских пальцев после извлечения некророснабжаемых фаланг для трансплантации на кисть (стрелкой обозначены оперированные пальцы): а — отсутствие укорочения; б — минимальное укорочение — до 1/2 ногтевой пластинки; с — умеренное укорочение — от 1/2 до 1 ногтевой пластинки; д — выраженное укорочение — более чем на ногтевую пластинку

**Fig. 1.** Conditional division of feet into groups when assessing the degree of shortening of donor fingers after toe phalanx transfer to the hand (the arrow indicates the operated fingers): а — minimal shortening — up to 1/2 nail plate; б — moderate shortening — from 1/2 to 1 nail plate; с — moderate shortening — from 1/2 to 1 nail plate; д — pronounced shortening — more than a nail plate

### Планта-подометрическое исследование

Для оценки формы стопы у 12 детей методом планто-подометрического исследования на основании графико-расчетного анализа плантограммы (отпечатка плантарной поверхности, отражающего включение зон стопы в восприятие статической нагрузки, а также признаки локальных перегрузок

плантарной поверхности) и подометрических изображений в проекции на три ортогональные плоскости оценивали следующие параметры, характеризующие форму стопы (рис. 2):

1) угол Шопарова сустава ( $\alpha_1$ ) — характеризует боковое отклонение среднего отдела стопы: образован двумя лучами, исходящими из точки,

расположенной на наружном контуре изображения стопы снизу на уровне 0,36 длины стопы от пятки (что соответствует уровню пяточно-кубовидного сустава), один из которых направлен вперед и проходит через наиболее латерально выступающую точку контура стопы в пучковой области, а другой направлен назад и проходит через наиболее выступающую точку контура стопы в области пятки;

2) *угол отклонения I пальца стопы* ( $\alpha_2$ ) — характеризует наличие и степень выраженности *hallux valgus*; представляет собой угол между касательной к контуру основной части стопы с медиальной стороны и касательной к контуру пальца с этой же стороны;

3) *коэффициент переднего отдела стопы* ( $k_1$ ) характеризует положение переднего отдела стопы (приведение или отведение) относительно заднего; рассчитывается как отношение ширины медиальной части линии пучков к ширине латеральной части этой линии;

4) *коэффициент распластанности переднего отдела стопы* ( $k_2$ ) характеризует степень распластанности переднего отдела стопы; рассчитывается как отношение ширины стопы на уровне пучков к длине стопы;

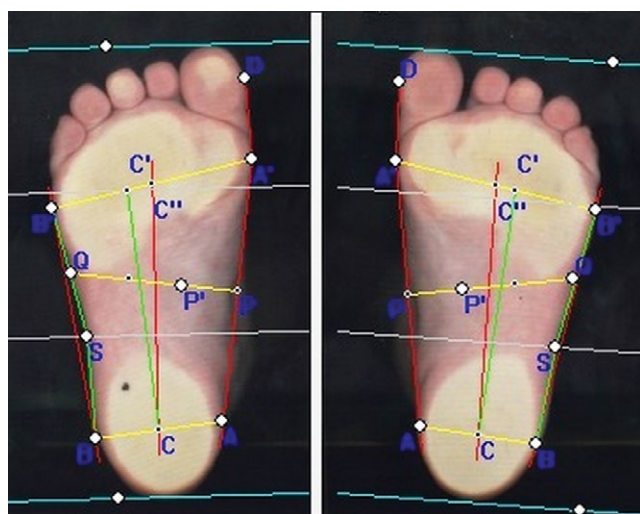
5) *высота бугристости ладьевидной кости* ( $G'$ ) характеризует высоту внутреннего продольного свода, но выраженность дуги свода отражает лишь косвенно, так как зависит и от длины стопы, коррелирующей с возрастом пациента; определяется как расстояние от плоскости опоры до нижнего края бугристости ладьевидной кости;

6) *подометрический индекс* ( $p$ ) характеризует выраженность дуги внутреннего продольного свода стопы; рассчитывается как отношение высоты бугристости ладьевидной кости к длине стопы;

7) *угол вальгусного или варусного отклонения пяточного отдела стопы* ( $\beta$ ) характеризует положение заднего отдела стопы во фронтальной плоскости; рассчитывается угол между вертикалью и срединной линией пяточного отдела, соединяющей середину ахиллова сухожилия и середину опорной поверхности пятки.

Подробнее определение этих параметров на ПАК «Скан» представлено в методическом пособии [28].

Для каждого из этих параметров рассчитывали коэффициент межконечностной асимметрии формы стопы, соотнося значение параметра, полученное при измерении одной стопы, со значением контралатеральной стопы (всегда меньшее значение делили на большее для более показательного сравнения результатов, полученных при обследовании разных пациентов) (табл. 3).



**Рис. 2.** Плантограмма, совмещенная с подометрическим изображением стоп снизу, пациента в возрасте 5 лет через 3,5 года после извлечения средней фаланги IV пальца правой стопы и через год после аналогичного вмешательства на левой стопе — признаков межконечностной асимметрии формы стоп не выявлено

**Fig. 2.** A plantogram combined with a podometric image of the feet from below, of patient at the age of 5, 3.5 years after the middle phalanx of the IV finger of the right foot transfer and 1 year after a similar surgery on the left foot: no signs of the feet shape asymmetry were revealed

Таблица 3

**Описательная статистика оценки межконечностной асимметрии формы стоп в группе оперированных пациентов, n = 12**

Статистический параметр	Коэффициент межконечностной асимметрии планто-подометрических параметров						
	$K_{\alpha 1}$	$K_{\alpha 2}$	$K_{k 1}$	$K_{k 2}$	$K_{G'}$	$K_p$	$K_{\beta}$
Среднее значение, $\bar{M}$	0,99	0,55	0,79	0,98	0,85	0,84	0,68
Стандартное отклонение, m	0,02	0,35	0,21	0,02	0,14	0,14	0,19
Медиана, Me	0,99	0,53	0,90	0,98	0,88	0,88	0,71
Коэффициент вариации (Cv), %	1,6	64,5	27,1	1,8	16,1	16,3	28,0

Значимая асимметрия плантографических и подометрических параметров донорской и контралатеральной стоп по группе пациентов выявлена только для двух параметров: угла отклонения I пальца стопы ( $\alpha_2$ ) и угла фронтального отклонения пяточного отдела стопы ( $\beta$ ). Такая асимметрия этих параметров в группе ( $M(K_{\alpha_2}) = 0,55$ ;  $M(K_{\beta}) = 0,68$ ) сопровождается их выраженной вариабельностью ( $Cv(K_{\alpha_2}) = 64,5\%$ ;  $Cv(K_{\beta}) = 28,0\%$ ). В одном из случаев особо выраженная асимметрия угла отклонения I пальца донорской и неоперированной стопы объяснялась наличием у пациентки врожденной синдактилии I–II лучей донорской стопы. Для уточнения, связана ли выявленная в среднем по группе асимметрия формы стопы с проведенной ранее операцией, было принято решение оценить данные пациентов не только по статистическим параметрам группы, но и индивидуально (табл. 4).

Особое внимание мы уделяли случаям, когда наблюдался выход значений параметра оперированной стопы за пределы нормы одновременно с наличием его асимметрии при сравнении с контралатеральной стопой, что могло указывать на патологическое изменение параметра как следствие оперативного вмешательства.

При анализе результатов угла отклонения I пальца стопы обращают на себя внимание данные

пациентов № 4–7. У пациентов № 4 и 6 вальгусное отклонение I пальца отмечалось на оперированной стопе; у ребенка № 5 обе стопы были донорские, а отклонение только на одной (до 12°). В случае № 7 I палец отклонен не на вальгус, а на варус (до 4°). Также в группе оказался пациент № 9, у которого имелось вальгусное отклонение I пальца стопы до 16° не на донорской, а на контралатеральной стопе. Однако мы не расцениваем этот факт как негативное влияние оперативного вмешательства на форму стопы, поскольку отклонение от нормы для этих пациентов было выявлено как на донорских, так и на контралатеральных конечностях.

Анализ параметров отклонения пяточного отдела стопы показал, что у большинства пациентов результаты находились в пределах референсных значений, а в некоторых случаях превышали норму незначительно.

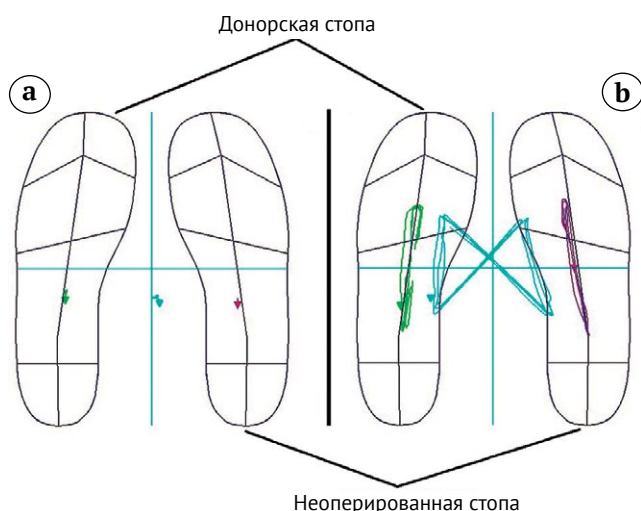
Планта-подометрическое исследование оперированной и контралатеральной стоп не выявило изменений остальных показателей (угла Шопарова сустава, высоты свода, коэффициентов переднего отдела стопы и его распластанности, подометрического индекса), которые можно было бы связать непосредственно с пересадкой некророснабжаемой фаланги пальца стопы.

Таблица 4

Результаты планто-подометрического обследования пациентов

№	Донорская стопа		Возраст, лет	$\alpha_1$ , град.			$\alpha_2$ , град.			$k_1$			$k_2$			$G'$ , мм			$p$ , %			$\beta$ , град.		
	Л	П		Л	П	Кс	Л	П	Кс	Л	П	Кс	Л	П	Кс	Л	П	Кс	Л	П	Кс	Л	П	Кс
1		+	4	176	168	0,95	-2	-2	1,00	1,65	1,00	0,61	0,42	0,41	0,97	Не удалось измерить						4	3	0,75
2		+	4	170	163	0,96	9	9	1,00	0,59	0,67	0,89	0,43	0,42	0,96	19	19	1,00	11,31	11,52	0,98	4	5	0,80
3	+	+	5	171	173	0,99	11	10	0,91	1,63	1,47	0,90	0,45	0,46	0,98	23	22	0,96	12,04	11,46	0,95	11	11	1,00
4		+	5	169	171	0,99	7	<b>14</b>	<b>0,50</b>	1,22	1,23	0,99	0,41	0,39	0,95	36	22	0,61	21,3	12,72	0,6	7	8	0,88
5	+	+	5	170	171	0,99	<b>12</b>	9	<b>0,75</b>	0,79	0,87	0,91	0,45	0,43	0,97	26	18	0,69	14,77	10,17	0,69	3	2	0,67
6	+		6	172	171	0,99	<b>11</b>	2	<b>0,18</b>	0,76	0,77	0,98	0,42	0,41	0,98	49	45	0,92	24,26	22,39	0,92	5	4	0,80
7	+		7	169	169	1,00	-4	1	<b>0,25</b>	1,11	1,05	0,95	0,39	0,41	0,97	25	26	0,96	12,69	13,27	0,96	2	5	0,40
8	+	+	7	170	168	0,99	1	9	0,11	0,92	1,00	0,92	0,36	0,36	1,00	38	28	0,74	18,27	13,27	0,73	5	4	0,80
9	+		9	170	170	1,00	9	<b>16</b>	0,56	1,08	0,95	0,89	0,42	0,42	1,00	38	33	0,87	18,54	15,79	0,85	5	2	0,40
10	+	+	9	176	173	0,98	-2	-1	0,50	0,7	1,33	0,52	0,4	0,4	1,00	8	7	0,88	3,09	2,71	0,88	5	3	0,60
11		+	10	173	173	1,00	9	11	0,82	0,5	1,13	0,44	0,38	0,38	1,00	37	38	0,97	16,59	17,04	0,97	2	1	0,50
12	+		13	171	171	1,00	2	0	0,00	0,38	0,84	0,46	0,4	0,41	0,99	27	19	0,70	11,64	7,98	0,69	7	4	0,57

Л — левая стопа, П — правая; Кс — коэффициент симметрии; жирным шрифтом выделены значения параметров оперированной стопы, выходящие за пределы нормы при наличии также значительной асимметрии параметра при сравнении обеих стоп.



**Рис. 3.** Распределение нагрузки в опорном контуре стоп пациентки 9 лет через 3 года после извлечения средней фаланги IV пальца левой стопы:

а — положение центров давления в статике;  
 б — миграция траектории центра давления при ходьбе

**Fig. 3.** Load distribution in the supporting contour of the feet of patient B. at the age of 9 years, 3 years after the the middle phalanx of the IV finger of the left foot transfer:

а — the position of the pressure centers in static;  
 б — migration of the trajectory of the pressure center when walking

### Бародинамоплантография

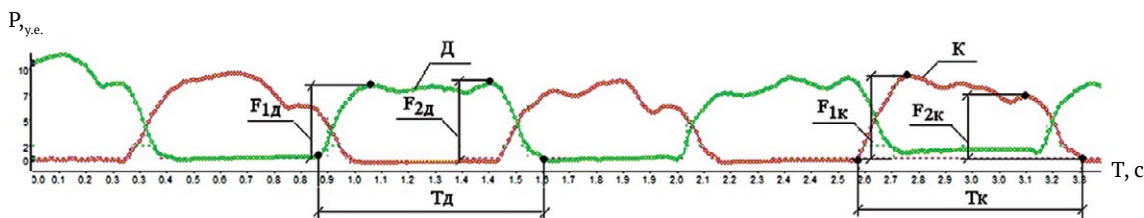
При обследовании анализировали положение и миграцию траектории центра давления под стопами (рис. 3).

Оценка в статике была направлена на выявление смещения общего центра нагрузки во фронтальной плоскости, которое характеризует опорную функцию нижней конечности. При этом нами не было выявлено опоропредпочтение здоровой конечности, которое косвенно указывало бы на снижение статической опороспособности донорской стопы.

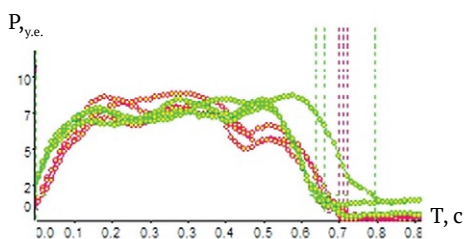
Исследование ходьбы пациентов включало в себя также измерение и анализ асимметрии продолжительности переката через донорскую стопу —  $T_d$  и контралатеральную —  $T_k$ , сил переднего толчка —  $F_{1d}$  и  $F_{1k}$ , заднего толчка —  $F_{2d}$  и  $F_{2k}$  (рис. 4).

Для каждого из биомеханических параметров оценивали межконечностную асимметрию, соотнося значение параметра, полученное для донорской стопы, к значению другой — контралатеральной.

Учитывая небольшую группу обследованных пациентов, результаты бародинамоплантографии представлены индивидуально (табл. 5).



а



б

**Рис. 4.** Измерение нагрузки на стопы при ходьбе пациентки 9 лет через 3 года после извлечения средней фаланги 4-го пальца левой стопы:

а — в режиме просмотра последовательного отображения графиков интегральной нагрузки на стопы во времени по шагам;

б — в режиме транспозиции (наложением друг на друга) графиков интегральной нагрузки по шагам.

Обозначения:  $T$  — продолжительность переката через стопу;  $F_1$  — сила переднего толчка;  $F_2$  — заднего;  $D$  — донорская стопа;  $K$  — контралатеральная

**Fig. 4.** Measurement of the load on the feet when walking patient at the age of 9 years, 3 years after the middle phalanx of the 4<sup>th</sup> toe of the left foot transfer:

а — in the mode of viewing the sequential display of graphs of the integral load on the feet in time by steps;

б — in the mode of transposition (overlapping) graphs of the integral loads in steps.

Designations:  $T$  — duration of rolling over the foot;  $F_1$  — force of anterior thrust;  $F_2$  — posterior;  $D$  — donor foot;  $K$  — contralateral



Таблица 5

Результаты бародинамоплантографического обследования 7 пациентов в возрасте от 6 до 13 лет

№	Возраст на момент обследования	Срок после операции	Графики интегральной нагрузки в режиме суперпозиции по шагам	Изменение суммарной нагрузки на стопы при ходьбе	Миграция траектории центра давления
1	13 лет	2 года			
2	9 лет	3 года			
3	6 лет	4 года			
4	7 лет	7,5 лет			

Продолжение таблицы 5

№	Возраст на момент обследования	Срок после операции	Графики интегральной нагрузки в режиме суперпозиции по шагам	Изменение суммарной нагрузки на стопы при ходьбе	Миграция траектории центра давления
5	10 лет	9 лет			
6	9 лет	1 год — на левой стопе, 6 мес. — на правой			
7	7 лет	3 года — на правой стопе, 2 года — на левой			

Д — донорская стопа; К — контралатеральная стопа; Р — давление под стопами; у.е. — условные единицы; Т — период; с — секунды.

У 5 детей из 7 обследованных одна стопа была донорской, другая — здоровой, что позволяло сравнить их между собой для выявления изменения биомеханических характеристик оперированной стопы. У 2 (№ 1 и № 3) из этих 5 пациентов было выявлено снижение сил переднего и заднего толчков в перекате (F1 и F2) и продолжительности переката (T) донорской стопы по сравнению с контралатеральной, у одного пациента (№ 2) наблюдалась обратная картина. При этом существенного снижения участия переднего отдела донорской стопы не наблюдалась (не было выявлено уменьшения длины траектории центра давления в зоне переднего отдела стопы), как и зональной либо локальной перегрузки переднего отдела оперированной или контралатеральной стопы.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Хотя аутотрансплантация некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы способствует улучшению внешнего вида и функции кисти за счет восстановления анатомии пальца кисти путем внедрения в дефект фаланги пальца стопы, по мнению ряда авторов, она оказывает негативное влияние на внешний вид донорских стоп, ухудшает качество жизни из-за затруднений с подбором и ношением обуви, а также вызывает эмоциональные проблемы [17, 25]. При этом не выявлено изменений походки, связанных с заимствованием фаланг пальцев стопы [16, 22].

Интересно клинико-рентгенологическое исследование L. Garagnani с соавторами, направленное на изучение изменений донорских участков у 40 пациентов с недоразвитиями пальцев кисти после 136 трансплантаций фаланг пальцев стоп с восстановлением сухожилия разгибателя после заимствования фаланги, выполненное с 1991 по 2007 г. Использовали опросник The Oxford Ankle-Foot Questionnaire, отражающий степень удовлетворенности пациентов и их родителей, и рентгенологическое исследование. Пациенты сообщали о склонности скрывать свои стопы, более 80% пациентов и их законных представителей сообщили о некоторой степени эмоциональных проблем, связанных с их стопами, более 60% пациентов отмечали проблемы с подбором и ношением обуви. С клинической точки зрения, укорочение донорских пальцев стоп носило индивидуальный характер, а в 76–100% случаев наблюдалась избыточная подвижность, поэтому усиление клинической деформации донорских стоп при заборе нескольких фаланг из одной стопы не было удивительным. Рентгенологическое исследование также выявило гипоплазию окружающих костных структур, включая дистальную фалангу, среднюю фалангу и плюсневую кость. Одному пациенту была проведена ампутация IV пальцев обеих стоп в связи с их не-

стабильностью и с целью улучшения внешнего вида стоп [25].

Для профилактики укорочения и деформации донорского пальца стопы применяли костную аутопластику сформировавшегося дефекта [10, 15, 16, 17], сшивание друг с другом сухожилий сгибателя и разгибателя пальца стопы [14] либо фиксировали палец стопы на 4–5 нед. с сохранением диастаза [14, 17]. При этом, по мнению авторов, при костной аутопластике стопа страдает меньше всего, однако имеется риск лизиса трансплантата, также нет подвижности в пальце стопы [16, 17].

F. Unglaub с соавторами наблюдали случаи линейного укорочения донорских пальцев стоп у оперированных ранее пациентов, однако этот факт существенно не отразился на походке [22].

Руководствуясь полученными данными мировой литературы, мы также выполнили исследование состояния донорских стоп пациентов в отдаленном периоде после операции с заимствованием некрвоснабжаемых фаланг.

Хотя наше клинико-рентгенологическое исследование подтверждает сведения авторов о линейном укорочении донорских пальцев стоп (более значимое обнаружено у тех детей, у которых заимствовали проксимальную фалангу), опрос пациентов и их законных представителей с использованием анкетирования The Oxford Ankle-Foot Questionnaire не выявил жалоб на нарушение опоры и ходьбы, болевые ощущения, ограничения в ношении обуви и наличие эмоциональных проблем из-за внешнего вида пальцев стопы. Наше исследование было дополнено инструментальной биомеханической оценкой донорских и контралатеральных стоп — значимого изменения их формы и статодинамической функции в отдаленном периоде после заимствования фаланг пальцев стопы для аутотрансплантации на кисть не выявлено.

### Ограничения исследования

Определенным ограничением в интерпретации результатов биомеханического исследования стоп наших пациентов является относительно небольшая их выборка. Этот факт, а также низкая публикационная активность (в мировой литературе найдены всего 4 статьи по данному вопросу) обуславливают актуальность дальнейшего изучения данного вопроса.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты компьютерной плантографии и подометрии не показали статистически значимых признаков влияния пересадки некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы на патологическое изменение дуги продольного свода, приведения/отведения среднего или переднего отделов, распластанности переднего отдела, вальгусного/

варусного отклонения заднего отдела оперированной стопы. Также и по результатам бародинамоплантографического обследования не выявлено существенного изменения статодинамической функции оперированной стопы в отдаленном периоде после заимствования фаланг пальцев для пересадки на кисть.

Метод аутотрансплантации некророснабжаемых фаланг пальцев стопы может быть использован для реконструкции пальцев кисти без

опасения появления выраженных нарушений статодинамической функции донорских зон. Тем не менее небольшой объем доступной для обследования выборки данных вследствие редкой частоты случаев патологии и ее оперативно-го лечения исследованным способом обуславливает целесообразность дальнейшего наблюдения за состоянием стоп у большего числа пациентов и в более отдаленные периоды после оперативного вмешательства.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

### Заявленный вклад авторов

*Матвеев П.А.* — концепция и дизайн исследования, написание обзора литературы, сбор и обработка материала, статистическая обработка результатов, написание текста статьи, этапное и заключительное редактирование.

*Шведовченко И.В.* — сбор и обработка материала, написание текста статьи, этапное и заключительное редактирование.

*Смирнова Л.М.* — концепция и дизайн исследования, обработка материала, написание текста статьи, этапное и заключительное редактирование.

*Кольцов А.А.* — сбор и обработка материала, написание текста статьи, этапное и заключительное редактирование.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Этическая экспертиза.** Исследование было одобрено этическим комитетом ФГБУ «ФНЦРИ им. Г.А. Альбрехта» Минтруда России (протокол № 1 от 02.06.2022) и проводилось в соответствии с этическими стандартами, изложенными в Хельсинкской декларации.

**Информированное согласие на публикацию.** Авторы получили письменное согласие законных представителей пациентов на публикацию медицинских данных и фотографий.

## DISCLAIMERS

### Author contribution

*Matveev P.A.* — research conception and design, literature review, the collection and processing of data, data statistical processing, text writing and editing.

*Shvedovchenko I.V.* — the collection and processing of material, text writing and editing.

*Smirnova L.M.* — research conception and design, processing of data, text writing and editing.

*Koltsov A.A.* — the collection and processing of data, text writing and editing.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Ethics approval.** The study was approved by the local ethics committee of Federal Scientific Center of Rehabilitation of the Disabled named after G.A. Albrecht, protocol No 1, 02.06.2022.

**Consent for publication.** Written consent was obtained from legal representatives of children for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

## ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Tonkin M.A. Classification of congenital anomalies of the hand and upper limb. *J Hand Surg Eur Vol.* 2017;42(5):448-456. doi: 10.1177/1753193417690965.
2. Kotkansalo T., Vilkki S., Elo P. Long-term results of finger reconstruction with microvascular toe transfers after trauma. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2011;64(10):1291-1299. doi: 10.1016/j.bjps.2011.04.036.

3. Hülsbergen-Krüger S., Preisser P., Partecke B.D. Ilizarov distraction-lengthening in congenital anomalies of the upper limb. *J Hand Surg Br.* 1998;23(2):192-195. doi: 10.1016/s0266-7681(98)80173-3.
4. Pensler J.M., Carroll N.C., Cheng L.F. Distraction osteogenesis in the hand. *J Plast Reconstr Surg.* 1998;102(1):92-95. doi: 10.1097/00006534-199807000-00014.

5. Seitz W.H., Shimko P., Patterson R.W. Long-term results of callus distraction-lengthening in the hand and upper extremity for traumatic and congenital skeletal deficiencies. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92(Suppl 2): 47-58. doi: 10.2106/jbjs.j.01106.
6. Lu J., Zhang Y., Jiang J., Xu L., Chim H. Distraction Lengthening Following Vascularized Second Toe Transfer for Isolated Middle Finger Reconstruction. *J Hand Surg Am.* 2017;42(1):e33-e39. doi: 10.1016/j.jhssa.2016.11.008.
7. Matev I.B. Thumb reconstruction after amputation at the metacarpophalangeal joint by bone lengthening. *J Bone Joint Surg.* 1970;52-A(5):957-965. Available from: [https://jbjs.org/reader.php?rsuite\\_id=375423&native=1&source=The\\_Journal\\_of\\_Bone\\_and\\_Joint\\_Surgery/52/5/957/abstract&topics=bs%2Bhw%2Bpd%2Bta#info](https://jbjs.org/reader.php?rsuite_id=375423&native=1&source=The_Journal_of_Bone_and_Joint_Surgery/52/5/957/abstract&topics=bs%2Bhw%2Bpd%2Bta#info).
8. Круглов А.В., Шведовченко И.В. Оценка результатов функционального протезирования детей с врожденными дефектами кисти и пальцев. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2019;7(2):33-40. doi: 10.17816/PTORS7233-40.  
Kruglov A.V., Shvedovchenko I.V. [Evaluation of the results of functional prosthetics in children with congenital defects of the hand and fingers]. [Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery]. 2019;7(2):33-40. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS7233-40.
9. Wolff H. Auswechselung von Finger und Zehenknochen: Beitrag zur Autoplastik. *Münchener Med. Wochenschr.* 1911:578.
10. Goebel W. Ersatz von Fingergelenken durch Zehengelenke. *Münchener Med Wochenschr.* 1913:1598-1599.
11. Entin M.A. Reconstruction of congenital abnormalities of the upper extremities. *J Bone Joint Surg Am.* 1959; 41-A(4):681-701.
12. Carroll R.E., Green D.P. Reconstruction of the Hypoplastic Digits Using Toe Phalanges. Proceedings of the American Society for Surgery of the Hand. *J Bone Joint Surg Am.* 1975;57-A(5):727. doi: 10.2106/00004623-197557050-00038.
13. Goldberg N.H., Kirk-Watson H. Composite toe (phalanx and epiphysis) transfers in the reconstruction of the aphyalangic hand. *J Hand Surg Am.* 1982;7(5):454-549. doi: 10.1016/s0363-5023(82)80039-7.
14. Buck-Gramcko D., Pereira J.A. Proximal toe phalanx transplantation for bony stabilization and lengthening of partially aplastic digits. *J Ann Chir Main Memb Super.* 1990;9(2):107-118. doi: 10.1016/s0753-9053(05)80487-9.
15. Buck-Gramcko D. The role of nonvascularized toe phalanx transplantation. *Hand Clin.* 1990;6(4):643-659. doi: 10.1016/s0749-0712(21)01061-1.
16. Radocha R.F., Netscher D., Kleinert H.E. Toe phalangeal grafts in congenital hand anomalies. *J Hand Surg Am.* 1993;18(5):833-841. doi: 10.1016/0363-5023(93)90050-D.
17. Bourke G., Kay S.P. Free phalangeal transfer: donor-site outcome. *Br J Plast Surg.* 2002;55(4):307-311. doi: 10.1054/bjps.2002.3836.
18. Cavallo A.V., Smith P.J., Morley S. Non-vascularized free toe phalanx transfers in congenital hand deformities – the Great Ormond Street experience. *J Hand Surg Br.* 2003;28(6):520-527. doi: 10.1016/s0266-7681(03)00084-6.
19. Ozkan T., Kuvat S.V., Aydin A., Biçer A. [Nonvascular phalangeal transfer from toes to hand in congenital aphyalangia]. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2007;41(1): 36-41. (In Turkish).
20. Tonkin M.A., Deva A.K., Filan S.L. Long term follow-up of composite non-vascularized toe phalanx transfers for aphyalangia. *J Hand Surg Br.* 2005;30(5):452-458. doi: 10.1016/j.jhsb.2005.06.001.
21. Gohla T., Metz Ch., Lanz U. Non-vascularized free toe phalanx transplantation in the treatment of symbrachydactyly and constriction ring syndrome. *J Hand Surg Br.* 2005;30(5):446-451. doi: 10.1016/j.jhsb.2005.06.003.
22. Unglaub F., Lanz U., Hahn P. Outcome analysis, including patient and parental satisfaction, regarding nonvascularized free toe phalanx transfer in congenital hand deformities. *Ann Plast Surg.* 2006;56(1):87-92. doi: 10.1097/01.sap.0000188109.65963.42.
23. Naran S., Imbriglia J.E. Case Report: 35-Year Follow-up for Nonvascularized Toe Phalangeal Transfer for Multiple Digit Symbrachydactyly. *Hand (N Y).* 2016;11(4):NP38-NP40. doi: 10.1177/1558944716658748.
24. Kawabata H., Tamura D. 5- and 10-Year Follow-Up of Nonvascularized Toe Phalanx Transfers. *J Hand Surg Am.* 2018;43(5):485.e1-485.e5. doi: 10.1016/j.jhssa.2017.10.034.
25. Garagnani L., Gibson M., Smith P.J., Smith G.D. Long-term donor site morbidity after free nonvascularized toe phalangeal transfer. *J Hand Surg Am.* 2012;37(4):764-774. doi: 10.1016/j.jhssa.2011.12.010.
26. Morris C., Liabo K., Wright P., Fitzpatrick R. Development of the Oxford ankle foot questionnaire: finding out how children are affected by foot and ankle problems. *Child Care Health Dev.* 2007;33(5):559-568. doi: 10.1111/j.1365-2214.2007.00770.x.
27. Кенис В.М., Димитриева А.Ю., Супонева Н.А., Пирадов М.А., Юсупова Д.Г., Зимин А.А. и др. Оксфордский опросник оценки состояния стопы у детей (Oxford Ankle Foot Questionnaire): лингвокультурная адаптация в России. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2021;9(2):135-142. doi: 10.17816/PTORS64382.  
Kenis V.M., Dimitrieva A.J., Suponeva N.A., Piradov M.A., Yusupova D.G., Zimin A.A. et al. [Oxford ankle foot questionnaire: Localization in Russia]. [Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery]. 2021;9(2):135-142. (In Russian). doi: 10.17816/PTORS64382.
28. Смирнова Л.М., Аржанникова Е.Е., Карапетян С.В., Гаевская О.Э. Методика использования комплексов серии «Скан» при диагностике состояния стопы и назначении ортопедических стелек: метод. пособие. СПб.: ЦИААН; 2015. 64 с.  
Smirnova L.M., Arzhannikova E.E., Karapetyan S.V., Gaevskaya O.E. [The method of using complexes of the «Scan» series in diagnosing the condition of the foot and prescribing orthopedic insoles: method. allowance. St. Petersburg: CIACAN; 2015. 64 p. (In Russian).

**Сведения об авторах**

✉ *Матвеев Павел Андреевич*

Адрес: Россия, 195067, г. Санкт-Петербург,  
ул. Бестужевская, д. 50

<https://orcid.org/0000-0002-0455-740X>

e-mail: p-matveyev@narod.ru

*Шведовченко Игорь Владимирович* — д-р мед. наук,  
профессор

<https://orcid.org/0000-0003-4618-328X>

e-mail: schwed.i@mail.ru

*Смирнова Людмила Михайловна* — д-р техн. наук

<https://orcid.org/0000-0003-4373-9342>

e-mail: info@diaserv.ru

*Кольцов Андрей Анатольевич* — канд. мед. наук

<https://orcid.org/0000-0002-0862-8826>

e-mail: katandr2007@yandex.ru

**Authors' information**

✉ *Pavel A. Matveev*

Address: 50, Bestuzhevskaya str., St. Petersburg, 195067,  
Russia

<https://orcid.org/0000-0002-0455-740X>

e-mail: p-matveyev@narod.ru

*Igor V. Shvedovchenko* — Dr. Sci. (Med.), Professor

<https://orcid.org/0000-0003-4618-328X>

e-mail: schwed.i@mail.ru

*Lyudmila M. Smirnova* — Dr. Sci. (Tech.)

<https://orcid.org/0000-0003-4373-9342>

e-mail: info@diaserv.ru

*Andrey A. Koltsov* — Cand. Sci. (Med.)

<https://orcid.org/0000-0002-0862-8826>

e-mail: katandr2007@yandex.ru