

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto629169>

# Оперативное лечение мобильной плоско-вальгусной деформации стоп у детей старшего школьного возраста с использованием остеотомии пяточной кости на основе предоперационного компьютерного моделирования: ретроспективное когортное исследование

А.И. Сосин, О.В. Кожевников, И.В. Грибова, С.Э. Кралина

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** Одной из признанных хирургических методик лечения плоско-вальгусной деформации стопы у детей старше 12 лет, позволяющей одновременно выполнить многоплоскостную коррекцию, является остеотомия пяточной кости по Эвансу. Актуальным вопросом до настоящего времени остаётся предоперационное планирование параметров сформированного диастаза с целью уменьшения количества случаев гипо- и гиперкоррекции деформации.

**Цель.** Оценить результаты остеотомии пяточной кости по Эвансу с использованием разработанного способа предоперационного планирования и фиксации индивидуальной H-образной реконструктивной пластины.

**Материалы и методы.** В данное исследование были включены 64 ребёнка в возрасте 12–17 лет с симптоматической плоско-вальгусной деформацией стоп, которые были поделены на две группы: в основной группе производили предоперационное планирование по разработанному методу, в контрольной применялся исключительно интраоперационный контроль коррекции. Для исследования эффективности разработанного метода использовали динамическую оценку рентгенометрических показателей и результатов опросника AOFAS до и после операции. Также учитывали изменение показателей групп по Foot Posture Index 6 и подометрическим индексам Chippaux-Smirak и Stasheli.

**Результаты.** В основной группе при сравнении с контрольной отмечено сокращение периода отёчности после операции, а также сроков начала полноценной опоры на конечность, значительное снижение количества случаев неполной коррекции. При изучении групп по шкале Foot Posture Index 6 и подометрическим индексам отмечена схожая динамика показателей.

**Заключение.** Применение разработанного способа предоперационного планирования при операции Эванса показало свою эффективность в лечении мобильной плоско-вальгусной деформации стоп у детей старшего школьного возраста.

**Ключевые слова:** мобильное плоскостопие; плоско-вальгусная деформация стоп; остеотомия по Эвансу; подростковый возраст; предоперационное планирование.

## Как цитировать:

Сосин А.И., Кожевников О.В., Грибова И.В., Кралина С.Э. Оперативное лечение мобильной плоско-вальгусной деформации стоп у детей старшего школьного возраста с использованием остеотомии пяточной кости на основе предоперационного компьютерного моделирования: ретроспективное когортное исследование // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2024. Т. 31, № 3. С. 283–294. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto629169>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto629169>

# Surgical treatment of mobile planovalgus deformation of feet using calcaneal osteotomy based on preoperative computer modeling in adolescent: a retrospective cohort study

Anton I. Sosin, Oleg V. Kozhevnikov, Inna V. Gribova, Svetlana E. Kralina

N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Evans calcaneal osteotomy is one of the recognized surgical techniques for the treatment of flat-valgus foot deformity in children over 12 years of age, which allows simultaneous multiplanar correction. Preoperative planning of the formed diastasis parameters to reduce the number of cases of hypo- and hypercorrection remains an urgent issue.

**AIM:** To evaluate the results of Evans calcaneal osteotomy using the developed method of preoperative planning and fixation with the individual H-shaped reconstructive plate.

**MATERIALS AND METHODS:** This study included 64 children aged 12–17 years with symptomatic planovalgus deformity, who were divided into two groups: in the main group, preoperative planning was used according to the developed method; in the control group for intraoperative control of correction was used only fluoroscopy and visual assessment. To study the effectiveness of the developed method, we used dynamic assessment of radiometric parameters and AOFAS questionnaire results before and after surgery. We also took into account the changes in the Foot Posture Index 6 and the Chippaux-Smirak and Stasheli podometric indices.

**RESULTS:** In comparison with the control group, the main group showed a reduction in the swelling period after surgery, as well as the timing of the onset of full limb support, and a significant decrease in the incomplete correction. Similar dynamics was observed when studying the groups according to the Foot Posture Index 6 scale and podometric indices.

**CONCLUSION:** The use of the developed method of preoperative planning during the Evans operation has shown its effectiveness for the treatment of flexible flatfoot deformity of the feet in adolescence.

**Keywords:** flexible flatfoot; planovalgus deformity; Evans calcaneal osteotomy; adolescence; preoperative planning.

## To cite this article:

Sosin AI, Kozhevnikov OV, Gribova IV, Kralina SE. Surgical treatment of mobile planovalgus deformation of feet using calcaneal osteotomy based on preoperative computer modeling in adolescent: a retrospective cohort study. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2024;31(3):283–294. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto629169>

## ОБОСНОВАНИЕ

Статическая мобильная плоско-вальгусная деформация стоп — одна из наиболее часто встречающихся ортопедических патологий у детей всех возрастов. Ведущими клиническими проявлениями, по которым оценивается степень тяжести деформации и определяется тактика лечения, являются снижение высоты продольного свода и угол вальгусного отклонения заднего отдела стопы при вертикальной нагрузке [1].

По данным ряда научных исследований [2, 3], у детей дошкольного возраста частота встречаемости мобильного плоскостопия, ассоциированного с вальгусной установкой заднего отдела, колеблется от 24 до 54%. В подавляющем большинстве случаев выявляется асимптоматическая форма: деформация не вызывает жалоб и не влияет на физическую активность ребёнка. В дальнейшем по мере роста ребёнка отмечается общая тенденция к уменьшению распространённости плоскостопия с одновременным увеличением части пациентов с симптоматической формой патологии. Так, в группе лиц старшего школьного возраста (12–18 лет) мобильная плоская стопа наблюдается в среднем у 15% детей, среди которых на долю II и III степени тяжести приходится до 70% [4, 5]. Превалирование клинически значимых форм у данной группы обуславливает позицию многих авторов о необходимости активной тактики лечения.

Общепринятыми показаниями к оперативному лечению симптоматической мобильной плоско-вальгусной деформации стоп являются неэффективность консервативного лечения и сохранение болевого синдрома [6]. Одной из признанных хирургических методик лечения плоско-вальгусной деформации стопы, позволяющей одновременно выполнить многоплоскостную коррекцию, является остеотомия пяточной кости по Эвансу. Данное вмешательство даёт возможность устранить смещение таранной кости и наружную девиацию переднего отдела, а также медиализировать положение бугра пяточной кости [7].

Данная операция, описанная в 1975 году [8], заключается в удлиняющей остеотомии на уровне переднего конца пяточной кости по плоскости, параллельной пяточно-кубовидному суставу, и на 1,5 см позади него (по линии, проходящей между передней и средней фасетками подтаранного сустава) [9]. В дальнейшем оригинальная методика неоднократно изменялась. Так, в 1995 году V.S. Mosca и соавт. модифицировали методику, предложив формировать диастаз трапециевидной формы [10]. Другие изменения касались направления плоскости остеотомии, формы сформированного диастаза, использования различных ауто- или аллотрансплантатов, а также применения синтетических материалов (пористый титан) [11–13].

Актуальным вопросом до настоящего времени остаётся предоперационное планирование параметров сформированного диастаза. Размеры диастаза определяют

по визуальной коррекции отведения переднего отдела стопы или по интраоперационной флюороскопии в подошвенной проекции. Данный метод ввиду невозможности выполнения полноценной нагрузочной пробы является неточным, что в итоге приводит к нерегулярным результатам у разных хирургов [14].

В 2019 году сотрудниками отделения детской ортопедии НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова был получен патент на индивидуальную H-образную реконструктивную пластину из титана [15], которая благодаря своим характеристикам смогла эффективно решить проблему стабильной фиксации фрагментов пяточной кости и костного трансплантата. Данная пластина изготавливается по индивидуальным параметрам, полученным на этапе предоперационной подготовки, по разработанному методу компьютерного моделирования.

**Цель исследования** — оценить результаты остеотомии пяточной кости по Эвансу с использованием разработанного способа предоперационного планирования и фиксации индивидуальной H-образной реконструктивной пластиной.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Дизайн исследования

Проведено когортное контролируемое ретроспективное исследование.

### Критерии соответствия

**Критерии включения.** В данное исследование были включены пациенты в возрасте от 12 до 17 лет, проходившие оперативное лечение плоско-вальгусной деформации стоп по методике Эванса в условиях 10-го отделения НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова с 2017 по 2023 год.

#### *Критерии исключения:*

- отсутствие в анамнезе стойких жалоб на боль и утомляемость в стопах при обычной нагрузке;
- указание на ригидность хотя бы одного из компонентов деформации (супинационная установка переднего отдела, подвывих в таранно-ладьевидном суставе, вальгусное положение пяточной кости);
- наличие таранно-пяточных и пяточно-ладьевидных коалиций;
- неврологические нарушения: приобретённые клинически значимые моторно-сенсорные нейропатии, связанные с движением нижних конечностей, наследованные нейро- и миопатии;
- несоблюдение протокола исследования (отсутствие прохождения анкетирования по русифицированным версиям опросника AOFAS, оценки установки стопы по критериям Foot Posture Index 6 (FPI-6) и выполнения плантоскопии до и после оперативного лечения в установленные сроки).

В основную группу были включены пациенты, которым выполнялись предоперационное планирование на виртуальных трёхмерных моделях и фиксация фрагментов пяточной кости индивидуальной H-образной пластиной. Остальные пациенты, с интраоперационной оценкой коррекции без предоперационного планирования, были включены в контрольную группу.

### Методы оценки целевых показателей

Все пациенты, включённые в исследование, на этапе сбора анамнеза прошли анкетирование по русифицированным опросникам AOFAS.

#### Клиническое обследование

Клиническое обследование пациентов, оценка установки стопы при вертикальной нагрузке, без неё и при ходьбе описывались по общепринятому принципу ортопедического осмотра [6]: оценивались показатели взаиморасположения отделов стопы, мобильность установки стопы, в том числе ригидность супинационной установки переднего отдела, положение заднего отдела при подъёме на полупальцы, нарушения торсии нижних конечностей и общий паттерн ходьбы. Данные клинического осмотра классифицировали по критериям FPI-6 — стандартизированной балльной системы оценки положения стопы по взаиморасположению переднего, среднего и заднего отделов [1, 16]. Таким образом, в регистрационной карте исследуемых учитывались не только качественные показатели деформации (наличие компонентов деформации, высота продольного свода при нагрузке и без неё и др.), но и количественные характеристики: сумма баллов по каждому из 6 тестов позволяет достоверно классифицировать установку стопы как пронированную, супинированную или нейтральную и использовать эти данные для динамического наблюдения.

### Инструментальное обследование

Инструментальное обследование пациентов включало рентгенографию стоп в прямой и боковой проекции в нагрузке с определением репрезентативных рентгенометрических показателей (степень плоскостопия по Богданову, нарушение угла Meary, угла инклинации пяточной кости на боковой проекции и угла таранно-пяточной дивергенции в прямой проекции (угол Kite)), компьютерную томографию нижних конечностей и плантоскопию по стандартному протоколу [16, 17].

Компьютерную томографию нижних конечностей проводили с целью более детальной оценки структурных изменений и деформаций костей стопы, соотношений структур подтаранного и Шопарова суставов, оценки степени дислокации таранной кости и исключения тарзальных коалиций, а также создания трёхмерной модели деформированной стопы для предоперационного планирования. Результаты плантоскопии оценивали по индексам Chipaux-Smirak (CSI) и Stasheli (SI) [16].

### Предоперационное планирование

Разработанный способ предоперационного планирования [18] на трёхмерных моделях заключается в следующем: в компьютерной программе для 3D-моделирования на полученной трёхмерной модели стопы пациента определяется плоскость хирургической коррекции деформации перпендикулярно плоскости пяточно-кубовидного сустава (рис. 1а), в данной плоскости определяется продольная ось заднего отдела стопы и касательная линия к наружному краю кубовидной кости, на пересечении которых определяется угол отведения кубовидной кости (рис. 1б), составляющий в норме от 0 до 5° [19], затем на созданной трёхмерной модели перпендикулярно плоскости хирургической коррекции, на расстоянии 1,5 см от плоскости пяточно-кубовидного сустава, выполняется

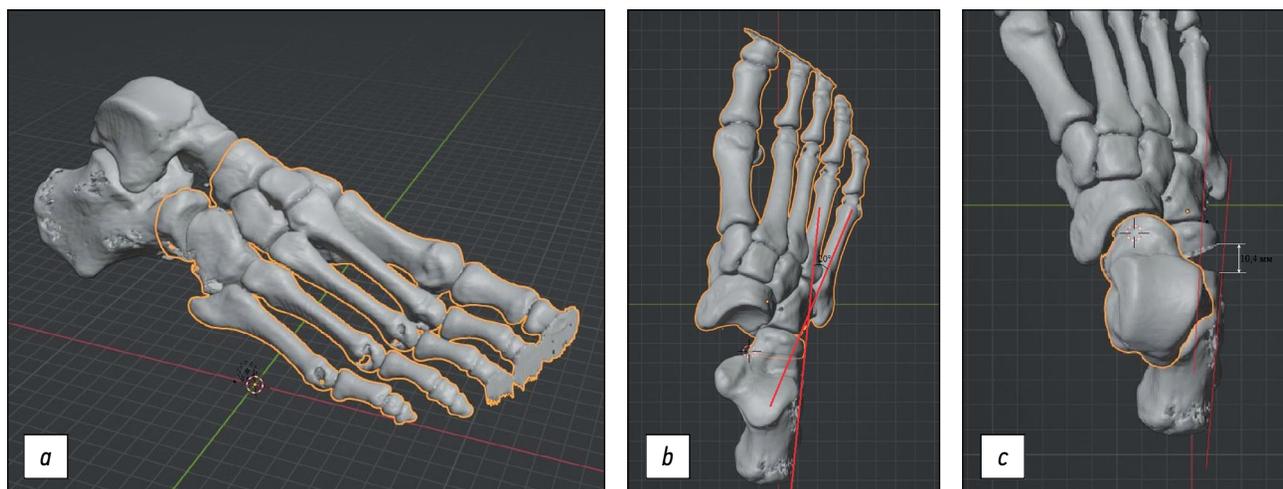


Рис. 1. Этапы моделирования операции на стопе: *a* — подготовка трёхмерной модели, выбор уровня остеотомии, *b* — определение угла отведения кубовидной кости, *c* — формирование диастаза.

Fig. 1. Stages of preoperative modeling: *a* — preparation of a three-dimensional model, choice of osteotomy level, *b* — determination of the cuboid abduction angle, *c* — diastasis modeling.

виртуальная остеотомия пяточной кости и относительно медиального кортикального слоя пяточной кости как оси моделируется формирование открытого клина до восстановления референтных значений угла (рис. 1с). По полученным параметрам открытого клина с использованием расстояния между наружными кортикалами фрагментов и его внутреннего объема рассчитывается размер индивидуальной фиксирующей Н-образной реконструктивной пластины и объем костного трансплантата, необходимого для заполнения образовавшегося дефекта.

#### Техника хирургического вмешательства

Все пациенты были прооперированы двумя хирургами, имеющими опыт в операциях по профилю стопы более 10 лет каждый. В соответствии с методикой операции Эванса применяли послойный доступ к телу пяточной кости по наружной поверхности стопы. Параллельно пяточно-кубовидному суставу и отступив от него кзади на 1,5 см, выполняли осцилляторной пилой поперечную остеотомию пяточной кости между медиальной и передней суставными фасетками пяточной кости. В основной группе медиальный кортикальный слой пяточной кости сохранялся интактным и формировался клиновидный диастаз. В контрольной группе использовали классическую технику с полной поперечной остеотомией и формированием трапециевидного диастаза. В область остеотомии устанавливали расширитель, при помощи которого раздвигали фрагменты кости.

В основной группе, сформированной по известным параметрам, диастаз фиксировали индивидуальной Н-образной пластиной и плотно заполняли костно-пластическим материалом. В контрольной группе размер диастаза контролировался интраоперационно по визуальной оценке конфигурации стопы, положении пяточной кости во фронтальной проекции и результатам ЭОП-контроля. Полученный диастаз в контрольной группе фиксировался стандартной наконечной пластиной.

Затем рану послойно ушивали и накладывали гипсовую повязку от пястно-фаланговых суставов до верхней трети голени на 8 недель. В случае выполнения ахиллотомии гипсовую повязку дополняли съёмной модульной задней лонгетой от средней трети голени до верхней трети бедра на срок 4 недели (далее — снятие лонгеты и начало разработки движений в коленном суставе).

Ходьба с полноценной нагрузкой на прооперированную стопу разрешалась после выявления на контрольных рентгенограммах признаков удовлетворительной перестройки трансплантата в области остеотомии.

#### Послеоперационный период

После операции все пациенты соблюдали ортопедический режим с возвышенным положением прооперированной конечности в течение первой недели (сроком от 3 до 7 дней). Контроль динамики отёка стоп проводили

по клиническим признакам. По уменьшении отёчности пациентам после совместной консультации с врачом-реабилитологом назначали индивидуальный курс вертикализации и разработки движений.

После выписки из стационара всех пациентов наблюдали в амбулаторном режиме в установленные сроки. После снятия гипсовой повязки и восстановления паттерна ходьбы, а затем через 6 месяцев и 1 год после оперативного лечения пациенты проходили повторное анкетирование, ортопедический осмотр с оценкой по FPI-6, плантоскопию и рентгенографию прооперированной стопы в прямой и боковой проекциях с нагрузкой.

#### Статистический анализ

Статистическая обработка данных исследования проводилась с применением программ StatSoft Statistica 10 и Microsoft Excel 2016. Использовался 95% доверительный интервал.

#### Этическая экспертиза

Исследование одобрено этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» Минздрава России. Авторы в письменной форме получили согласие пациентов (у лиц до 15 лет — согласие их законных представителей) на участие в исследовании.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

После отбора историй болезни по критериям включения и исключения в когорту исследования были отображены 64 пациента с плоско-вальгусной деформацией стоп, из них 52 мальчика (81,25%) и 12 девочек (18,75%). Медиана возраста составила 13 лет.

Всем пациентам выполнялось оперативное лечение в объёме остеотомии пяточной кости по Эвансу. 32 пациентам (51 стопа) на этапе предоперационной подготовки выполняли планирование на трёхмерных моделях по разработанному методу, на основании которого заранее подбирали размер индивидуальной пластины (основная группа). Остальные пациенты были включены в контрольную группу. Статистически обе группы сопоставимы по полу, возрасту, результатам оценки по шкале FPI-6 и по рентгенометрическим показателям до операции.

Во время операции отмечались случаи тыльного смещения дистального фрагмента пяточной кости при формировании диастаза. При возникновении данного осложнения выполнялись дополнительная манипуляция фрагментом и его временная фиксация спицей. В контрольной группе данное смещение отмечено у 11 пациентов, в основной группе — только у 4.

На рентгенограммах пациентов на вторые сутки после операции в контрольной группе у 3 детей наблюдали дефекты заполнения диастаза. У всех пациентов основной группы было отмечено полноценное заполнение сформированного диастаза (табл. 1).

**Таблица 1.** Частота осложнений в раннем послеоперационном периоде**Table 1.** The frequency of complications in the early postoperative period

Группа	Дефект заполнения диастаза		Тыльное смещение дистального фрагмента пяточной кости		Гиперкоррекция деформации		Случаи реакции болезни трансплантата	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Основная (выполнялось предоперационное планирование), $n=32$	–	0	4	12,5	–	0	2	6,25
Контрольная (интраоперационный контроль коррекции), $n=32$	3	9,37	11	34,37	4	12,5	1	3,12

В раннем послеоперационном периоде (со дня операции до дня выписки) в обеих группах в среднем заживление послеоперационной раны происходило в стандартные сроки 12–16 дней. По сравнению с контрольной в основной группе пациентов было выявлено статистически значимое сокращение сроков сохранения отёчности стопы (с 12 ( $\pm 3$ ) до 8 ( $\pm 2$ ) дней), что закономерно приводило к более ранним срокам начала вертикализации. В связи с невозможностью выполнения полноценной нагрузочной пробы оценку рентгенограмм в раннем послеоперационном периоде выполняли без нагрузки с целью контроля положения внутренних фиксаторов и трансплантата. У всех пациентов основной группы было отмечено полноценное заполнение сформированного диастаза.

Сроки удовлетворительной консолидации фрагментов пяточной кости, позволяющей начать вертикальную нагрузку, в основной и контрольной группе значительно различались. В контрольной группе при фиксации области остеотомии спицами средние сроки консолидации составляли 2,7 месяца ( $\pm 0,16$ ). В основной группе — 2,4 месяца ( $\pm 0,14$ ).

По результатам клинического осмотра в период начала полноценной опоры на стопу в контрольной группе было выявлено 4 случая гиперкоррекции: в положении стоя у пациентов была отмечена супинационно-аддукционная установка переднего отдела. Установка подавалась одномоментной ручной коррекции, однако при ходьбе рецидивировала. Установка не была анталгической — жалоб на боли пациенты не предъявляли. Пациентам назначался курс массажа и лечебной физкультуры с целью коррекции установки. В динамике через 1 год у 3 пациентов установка скорректировалась. В основной группе пациентов случаев гиперкоррекций не выявлено (табл. 1).

На сроке 6 месяцев после операции у всех больных было отмечено уменьшение степени деформации. В основной группе наблюдалось восстановление угла продольного свода до нормы в 89% случаев (в остальных случаях — до I степени по Богданову). В контрольной группе данный показатель достигал 72% (в остальных случаях — I и II степени по Богданову).

Несмотря на разную степень коррекции, все пациенты указывали на уменьшение болей и увеличение толерантности к физической нагрузке, что впоследствии сохранялось через 6 месяцев и 1 год после операции.

По результатам проводимого анкетирования по опроснику AOFAS через 6 месяцев у пациентов обеих групп был выявлен сопоставимый прирост среднего балла в динамике. Однако при обследовании через 1 год в контрольной группе выявилось некоторое снижение среднего балла.

При клиническом осмотре с балльной оценкой по FPI-6 в обеих группах была выявлена схожая динамика показателей ( $-7 (\pm 2)$  баллов). Клиническая оценка установки стоп у всех пациентов классифицирована как нейтральная. При оценке динамики параметров плантоскопических индексов CSI и SI в обеих группах выявлено их сопоставимое уменьшение до средних значений в их возрастных категориях [16]. Результат в течение 1 года после операции в обеих группах в целом оставался без изменений (табл. 2).

### Клинический пример

Пациент С., 13 лет. Диагноз — плоско-вальгусная деформация стоп. Поступил в отделение с жалобами на боли в правой стопе при длительной нагрузке, быструю утомляемость при ходьбе.

Клинически: плоско-вальгусная деформация обеих стоп (более выраженная справа), деформация мобильна, одномоментно пассивно выводится в среднее положение. Количество баллов по системе FPI-6: +11 справа (выраженная пронирующая установка), +9 слева (рис. 2а). Результаты плантоскопии: CSI — 1,12, SI — 1,53.

На рентгенограммах правой стопы (рис. 2б, в): таранно-пяточный угол в прямой проекции —  $42^\circ$ , угол продольного свода —  $160^\circ$ , высота продольного свода — 12 мм (III степень по Богданову), угол Meary в боковой проекции —  $18^\circ$ , угол инклинации пяточной кости —  $18^\circ$ .

При анкетировании по опроснику AOFAS получен результат 64 балла.

Пациенту было выполнено КТ-исследование стоп и голеностопных суставов с имитацией вертикальной нагрузки.

**Таблица 2.** Динамика оценки по шкалам FPI-6, AOFAS и основным рентгенометрическим показателям**Table 2.** The dynamics of the assessment according to the FPI-6, AOFAS scales and the main rentgenometric parameters

Показатель	Основная группа			Контрольная группа		
	До операции	Через 6 месяцев	Через 1 год	До операции	Через 6 месяцев	Через 1 год
FPI-6	+8,4 (±1,6)	+1,8 (±1,4)	+2,2 (±1,2)	+8,2 (±1,2)	+2,0 (±1,6)	+2,3 (±1,8)
Угол продольного свода	154° (±6,2)	132° (±2,3)	134° (±3,2)	156° (±5,4)	140° (±2,4)	142° (±4,2)
Угол Meary	18° (±2,4)	5,4° (±2,4)	6,3° (±2,4)	17,4° (±2,2)	6,6° (±2,2)	6,8° (±2,3)
Угол инклинации пяточной кости	16,2° (±4,4)	34,3° (±2,4)	32,2° (±3,4)	18° (±2,4)	35,7° (±3,5)	33,1° (±3,3)
Угол Kite	42,2° (±2,4)	26,4° (±2,4)	26,6° (±2,4)	44,1° (±2,4)	25,3° (±2,4)	27,6° (±2,4)
AOFAS	62,22 (±12,59)	93,56 (±4,58)	91,16 (±5,7)	62,42 (±12,59)	92,14 (±5,15)	90,23 (±6,59)

По результатам компьютерной томографии на этапе предоперационной подготовки была создана виртуальная трёхмерная модель правой стопы. На полученной модели в плоскости хирургической коррекции было выполнено измерение угла отведения кубовидной кости — 20°, а также формирование клиновидного диастаза до полной коррекции данного угла. Далее было выполнено измерение параметров открытого клина (10,4 мм) и вычисление объёма необходимого костного трансплантата (5,2 мл) (рис. 1).

Для устранения деформации правой стопы выполнены остеотомия пяточной кости по методике Эванса с сохранением медиального кортикала, фиксация индивидуальной Н-образной реконструктивной пластиной, дефект заполнен остеиндуктивным материалом (губчатый костный аллотрансплантат необходимого объёма).

Через 6 месяцев со дня операции при клиническом осмотре в положении стоя было выявлено уменьшение деформации правой стопы: +3 балла по системе FPI-6. Результаты плантоскопии: индекс Chippaux-Smirak — 0,6 и Stsaheli — 0,71 (рис. 2d).

Результаты рентгенографии правой стопы с вертикальной нагрузкой через 6 месяцев со дня операции: таранно-пяточный угол в прямой проекции — 25°, угол продольного свода — 138°, высота продольного свода — 25 мм (I степень по Богданову), угол Meary в боковой проекции — 8°, угол инклинации пяточной кости — 28° (рис. 2e, f)

По результатам анкетирования через 6 месяцев по опроснику AOFAS полученный прирост показателя составил 32 балла. Через 1 год результат сохранялся.

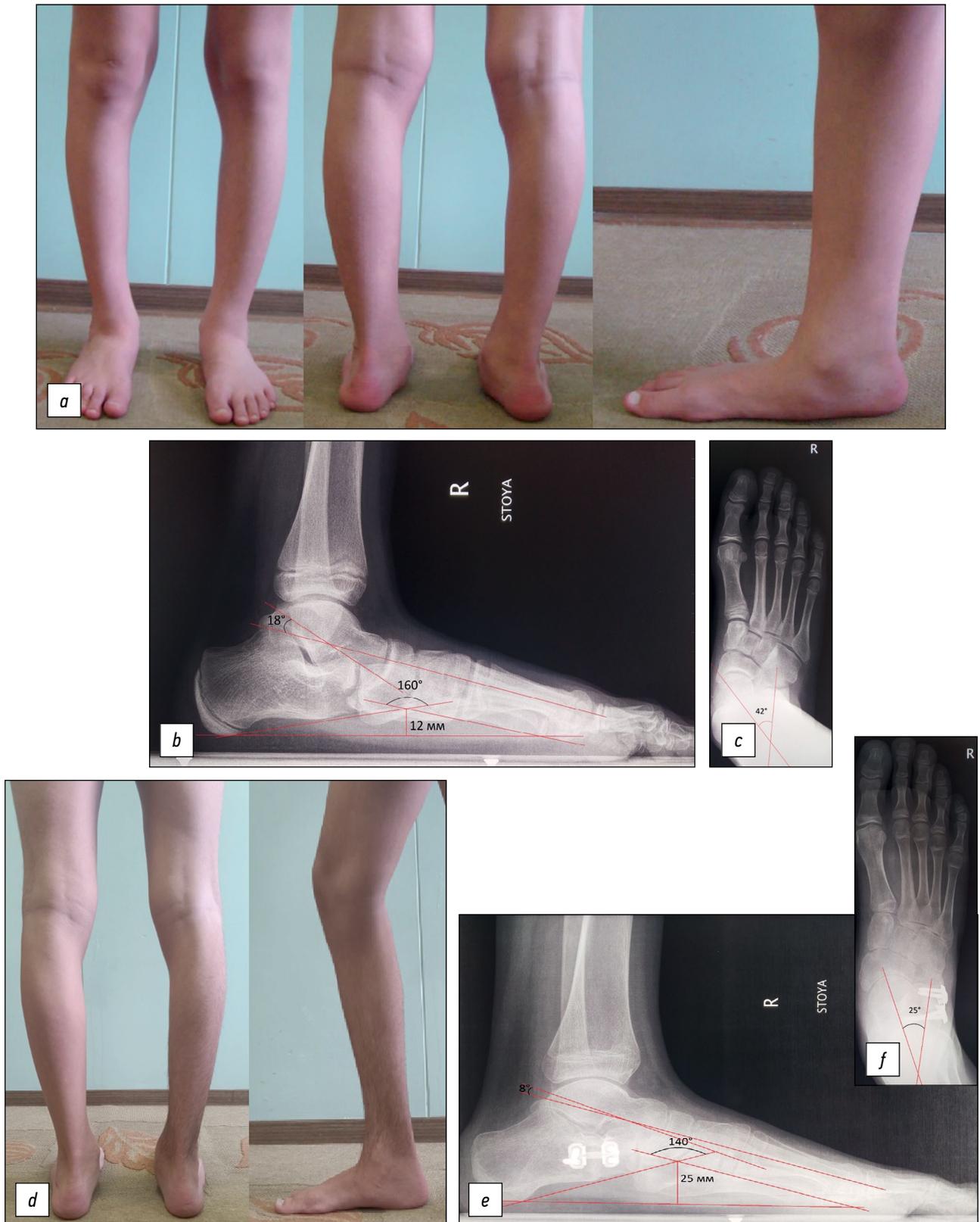
## ОБСУЖДЕНИЕ

По данным литературы [20], наиболее частыми осложнениями, возникающими после операции Эванса, выступают гипо- либо гиперкоррекция деформации и тыльное смещение дистального фрагмента пяточной кости. Основной причиной данных осложнений, по нашему мнению, является сложность предоперационного планирования при выполнении вмешательства

с формированием трапециевидного диастаза. При такой методике механизм коррекции предполагает сложное синхронное многоплоскостное перемещение фрагментов пяточной кости, таранной кости, а также всего переднего и среднего отделов стопы, точное индивидуальное планирование которого является крайне сложным [21]. Как следствие, хирурги вынуждены прибегать к интраоперационному определению параметров диастаза без необходимого нагрузочного теста, что и приводит к подобным осложнениям.

При проведении операций у пациентов основной группы нами выполнялось сохранение медиального кортикала пяточной кости, сформированный диастаз имел форму клина. Данная модификация показала ряд следующих преимуществ:

- исключение фактора многоплоскостного смещения дистального фрагмента позволило упростить моделирование операции. С учётом смещения фрагмента только в плоскости, перпендикулярной плоскости пяточно-кубовидного сустава, при компьютерном моделировании поэтапно воспроизводили коррекцию деформации на основе известных кадаверных исследований [21]. Формирование клиновидного диастаза вокруг медиального кортикала как оси, в соответствии с механизмом «натягивающейся тетивы лука», приводит к перемещению всего переднего отдела. Вслед за перемещением переднего отдела происходит движение таранной кости на уровне подтаранного сустава по известной траектории, соответствующей инверсии;
- возможность моделирования операции в итоге позволила не допустить гипо- и гиперкоррекции деформации в послеоперационном периоде, а также точно спланировать размеры костного трансплантата для полноценного заполнения диастаза;
- пяточно-кубовидный сустав имеет сложное строение суставных поверхностей: плоские, косо направленные в сагиттальной плоскости, с наличием выступающего элемента по подошвенной поверхности — пяточного отростка кубовидной кости (Processus calcaneus) [9]. Эта особенность строения



**Рис. 2.** Пациент С., 13 лет, диагноз — плоско-вальгусная деформация стоп: *a* — внешний вид стопы до операции, *b* — рентгенография до операции с нагрузкой (боковая проекция), *c* — рентгенография до операции с нагрузкой (прямая проекция), *d* — внешний вид через 6 месяцев после операции, *e* — рентгенография через 6 месяцев с нагрузкой (боковая проекция), *f* — рентгенография через 6 месяцев с нагрузкой (прямая проекция).

**Fig. 2.** Patient S., 13 years, diagnosis — planovalgus foot deformity: *a* — view of the foot before surgery, *b* — radiography before surgery with a load (lateral projection), *c* — radiography before surgery with a load (AP projection), *d* — patient appearance 6 months after surgery, *e* — radiography after 6 months with a load (lateral projection), *f* — radiography after 6 months with a load (AP projection).

резко ограничивает ротационные движения в суставе, что позволяет передавать супинационное и пронационное движение пяточной кости всей латеральной колонне. Однако она совершенно не препятствует подошвенному смещению кубовидной кости и, соответственно, тыльному смещению дистального фрагмента пяточной кости при формировании диастаза. Сохранение медиального кортикала ограничивает смещение фрагмента пяточной кости, что вкупе с ротационной стабильностью сустава позволяет использовать восстановление угла отведения кубовидной кости в горизонтальной плоскости как хороший ориентир при выполнении коррекции.

В силу ограниченности отображения мягких тканей при КТ-исследовании, а также сложности их моделирования при коррекции данный способ не позволяет в полной мере учитывать натяжение сухожилий и капсульно-связочного аппарата стопы при планировании операции. Как пример можно привести описанное в литературе влияние натяжения сухожилия короткой малоберцовой мышцы на степень сублюксации на уровне пяточно-кубовидного сустава и натяжения сухожилия длинной малоберцовой мышцы на формирование дуги продольного свода [22]. Несмотря на это, степень интраоперационной коррекции, рассчитанная предложенным методом, обеспечила хороший клинический результат и достижение референтных угловых значений на рентгенограммах с нагрузкой, что может означать, что на данном этапе мягкотканым компонентом можно пренебречь.

Значительное сокращение времени операции и уменьшение в целом оперативной агрессии за счёт минимизации травмирующих кость и мягкие ткани манипуляций во время подбора степени коррекции позволило в послеоперационном периоде начать более раннюю вертикализацию пациента.

Сроки удовлетворительной перестройки трансплантата, позволяющей начать полноценную нагрузку на стопу, у пациентов контрольной и основной групп различались незначительно.

В основной группе были выявлены два случая реакции болезни трансплантата в раннем послеоперационном периоде: отмечались значительная отёчность области установки металлоконструкции, обильное серозное отделяемое. У данных пациентов была проведена десенсибилизирующая терапия (хлоропирамин, дексаметазон). В течение недели в обоих случаях состояние купировалось (в течение 7 дней в одном случае и 5 дней — в другом).

В ходе работы над исследованием были выявлены слабые стороны разработанного метода. К ним относятся необходимость использования компьютерной томографии с вертикальной нагрузкой (или её имитацией), а также определённый навык использования программ для трёхмерного моделирования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение разработанного способа предоперационного планирования и фиксации фрагментов показало свою эффективность для лечения мобильной плоско-вальгусной деформации стоп у детей старшего возраста.

Полученные хорошие долгосрочные результаты коррекции деформации дают основание считать значения угла отведения кубовидной кости основным ориентиром на этапе предоперационного планирования на трёхмерных моделях. Однако необходимо проведение исследований более высокого уровня достоверности для полноценного подтверждения эффективности метода.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНО

**Вклад авторов.** Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: А.И. Сосин — организация исследования, сбор и анализ литературных источников, курация пациентов, сбор данных исследования, подготовка и написание текста статьи; О.В. Кожевников — хирургическое лечение пациентов, курация процесса написания статьи, редактирование статьи; И.В. Грибова — курация пациентов, сбор данных исследования, хирургическое лечение пациентов, редактирование текста статьи; С.Э. Кралина — курация пациентов, сбор данных исследования, хирургическое лечение пациентов.

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

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

**Информированное согласие на публикацию.** Авторы получили письменное согласие пациента на публикацию его медицинских данных и фотографий.

## ADDITIONAL INFO

**Author contribution.** All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication). The greatest contribution is distributed as follows: A.I. Sosin — designed the study, collection and analysis of literary sources, curation of patients, collection of research data, wrote the manuscript with input from all authors; O.V. Kozhevnikov — surgical treatment of patients, curation of the writing process, editing of the manuscript; I.V. Gribova — curation of patients, collection of research

data, surgical treatment of patients, editing of the manuscript; S.E. Kralina — patient supervision, research data collection, surgical treatment of patients.

**Funding source.** The authors state that there is no external funding when conducting the research and preparing the publication.

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

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шабалдин Н.А., Шабалдин А.В., Титов Ф.В., Кокина В.А. Сравнительный анализ положения стопы у детей с использованием индекса позиции стопы (FPI-6) с симптоматическими и бессимптомными формами плоскостопия // *Фундаментальная и клиническая медицина*. 2020. Т. 5, № 4. С. 76–83. doi: 10.23946/2500-0764-2020-5-4-76-83
2. Evans A.M., Rome K. A Cochrane review of the evidence for non-surgical interventions for flexible pediatric flat feet // *Eur J Phys Rehabil Med*. 2011. Vol. 47, № 1. P. 69–89.
3. Pfeiffer M., Kotz R., Ledl T., Hauser G., Sluga M. Prevalence of flat foot in preschool-aged children // *Pediatrics*. 2006. Vol. 118, № 2. P. 634–639. doi: 10.1542/peds.2005-2126
4. Кенис В.М., Лапкин Ю.А., Хусаинов Р.Х., Сапоговский А.В. Мобильное плоскостопие у детей (Обзор литературы) // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2014. Т. 2, № 2. С. 44–54. doi: 10.17816/PTORS2244-54
5. Армасов А.Р., Киселёв В.Я. Диагностическая ценность метода визуальной оценки стоп при диагностике плоскостопия у подростков // *Гений ортопедии*. 2010. № 3. С. 101–104. EDN: MTYNSN
6. Клинические рекомендации. Травматология и ортопедия детского и подросткового возраста / под ред. С.П. Миронова. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2017. 416 с.
7. Soomekh D.J., Baravarian B. Pediatric and adult flatfoot reconstruction: subtalar arthroereisis versus realignment osteotomy surgical options // *Clin Podiatr Med Surg*. 2006. Vol. 23, № 4. P. 695–v. doi: 10.1016/j.cpm.2006.08.003
8. Evans D. Calcaneo-valgus deformity // *J Bone Joint Surg Br*. 1975. Vol. 57, № 3. P. 270–278.
9. Raines R.A. Jr, Brage M.E. Evans osteotomy in the adult foot: an anatomic study of structures at risk // *Foot Ankle Int*. 1998. Vol. 19, № 11. P. 743–747. doi: 10.1177/107110079801901106
10. Mosca V.S. Calcaneal lengthening for valgus deformity of the hindfoot. Results in children who had severe, symptomatic flatfoot and skewfoot // *J Bone Joint Surg Am*. 1995. Vol. 77, № 4. P. 500–512. doi: 10.2106/00004623-199504000-00002
11. Lai C.C., Wang T.M., Chang C.H., et al. Calcaneal lengthening using ipsilateral fibula autograft in the treatment of symptomatic pes valgus in adolescents // *BMC musculoskeletal disorders*. 2021. Vol. 22, № 1. P. 977. doi: 10.1186/s12891-021-04855-9
12. Müller S.A., Barg A., Vavken P., Valderrabano V., Müller A.M. Autograft versus sterilized allograft for lateral calcaneal lengthening osteotomies: Comparison of 50 patients // *Medicine (Baltimore)*. 2016. Vol. 95, № 30. P. e4343. doi: 10.1097/MD.0000000000004343
13. Stamos N.J., Murasko M.J., Richardson K., et al. Radiographic Outcomes of Titanium Augment vs Bone Graft in Lateral Column Lengthening for Adult-Acquired Flatfoot Deformity // *Foot & ankle orthopaedics*. 2023. Vol. 8, № 2. P. 24730114231176554. doi: 10.1177/24730114231176554
14. Lima T.C., Volpon J.B. Calcaneal lateral column lengthening osteotomy for symptomatic flexible flatfoot in children and adolescents: a systematic review. Osteotomia de alongamento da coluna lateral do calcâneo para tratamento do pé plano flexível sintomático de crianças e adolescentes: revisão sistemática // *Rev Col Bras Cir*. 2018. Vol. 45, № 6. P. e1969. doi: 10.1590/0100-6991e-20181969
15. Патент РФ на изобретение № 196831/ 18.11.2019. Бюл. № 8. Кожевников О.В., Бухтин К.М., Грибова И.В., и др. Ортопедическая H-образная реконструктивная пластина. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42589439> EDN: MPGKYL
16. Васильев О.С., Степаник И.А., Лёвушкин С.П., Рохлин А.В. Методы диагностики плоскостопия у детей. Систематический обзор // *Новые исследования*. 2021. № 4(68). С. 71–97. doi: 10.46742/2072-8840-2021-68-4-71-97
17. Choi J.H., Choi Y.H., Kim D.H., et al. Effect of flatfoot correction on the ankle joint following lateral column lengthening: A radiographic evaluation // *PLOS One*. 2023. Vol. 18, № 11. P. e0286013. doi: 10.1371/journal.pone.0286013
18. Кожевников О.В., Грибова И.В., Огарёв Е.В., Сосин А.И., Кралина С.Э. Способ хирургического лечения плоско-вальгусной деформации стопы у детей старшего возраста с использованием остеотомии пяточной кости на основе предоперационного компьютерного моделирования. Свидетельство о государственной регистрации заявки на изобретение, рег. № 2023113705/14(029063) от 26.05.2023. Москва: Роспатент, 2023.
19. Gentili A., Masih S., Yao L., Seeger L.L. Pictorial review: foot axes and angles // *Br J Radiol*. 1996. Vol. 69, № 826. P. 968–974. doi: 10.1259/0007-1285-69-826-968
20. Jara M.E. Evans Osteotomy Complications // *Foot Ankle Clin*. 2017. Vol. 22, № 3. P. 573–585. doi: 10.1016/j.fcl.2017.04.006
21. Dumontier T.A., Falicov A., Mosca V., Sangeorzan B. Calcaneal lengthening: investigation of deformity correction in a cadaver flatfoot model // *Foot Ankle Int*. 2005. Vol. 26, № 2. P. 166–170. doi: 10.1177/107110070502600209
22. Mehanna J., Massaad A., Assi A., et al. Risk Factors for Failure of Calcaneal Lengthening Osteotomy in Children and Adolescents With Planovalgus Foot Deformity: A Retrospective Study // *Cureus*. 2023. Vol. 15, № 8. P. e43157. doi: 10.7759/cureus.43157

## REFERENCES

1. Shabaldin NA, Shabaldin AV, Titov FV, Kokina VA. Comparative analysis of the foot position in children with symptomatic and asymptomatic flatfoot using the foot posture index (FPI-6). *Fundamental and Clinical Medicine*. 2020;5(4):76–83. doi: 10.23946/2500-0764-2020-5-4-76-83
2. Evans AM, Rome K. A Cochrane review of the evidence for non-surgical interventions for flexible pediatric flat feet. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2011;47(1):69–89.
3. Pfeiffer M, Kotz R, Ledl T, Hauser G, Sluga M. Prevalence of flat foot in preschool-aged children. *Pediatrics*. 2006;118(2):634–639. doi: 10.1542/peds.2005-2126
4. Kenis VM, Lapkin YA, Husainov RK, Sapogovskiy AV. Flexible flatfoot in children (review). *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2014;2(2):44–54. doi: 10.17816/PTORS2244-54
5. Armasov AR, Kiselev VY. Diagnostic value of the technique for feet visual estimation in adolescent platypodia determination. *Genij ortopedii*. 2010;(3):101–104. EDN: MTYNSN
6. Mironov SP, editor. *Clinical recommendations. Traumatology and orthopedics of childhood and adolescence*. Moscow: GEOTAR-Media; 2017. 416 p.
7. Soomekh DJ, Baravarian B. Pediatric and adult flatfoot reconstruction: subtalar arthroereisis versus realignment osteotomy surgical options. *Clin Podiatr Med Surg*. 2006;23(4):695–v. doi: 10.1016/j.cpm.2006.08.003
8. Evans D. Calcaneo-valgus deformity. *J Bone Joint Surg Br*. 1975;57(3):270–278.
9. Raines RA Jr, Brage ME. Evans osteotomy in the adult foot: an anatomic study of structures at risk. *Foot Ankle Int*. 1998;19(11):743–747. doi: 10.1177/107110079801901106
10. Mosca VS. Calcaneal lengthening for valgus deformity of the hindfoot. Results in children who had severe, symptomatic flatfoot and skewfoot. *J Bone Joint Surg Am*. 1995;77(4):500–512. doi: 10.2106/00004623-199504000-00002
11. Lai CC, Wang T.M, Chang CH, et al. Calcaneal lengthening using ipsilateral fibula autograft in the treatment of symptomatic pes valgus in adolescents. *BMC musculoskeletal disorders*. 2021;22(1):977. doi: 10.1186/s12891-021-04855-9
12. Müller SA, Barg A, Vavken P, Valderrabano V, Müller AM. Autograft versus sterilized allograft for lateral calcaneal lengthening osteotomies: Comparison of 50 patients. *Medicine (Baltimore)*. 2016;95(30):e4343. doi: 10.1097/MD.0000000000004343
13. Stamatou NJ, Murasko MJ, Richardson K, et al. Radiographic Outcomes of Titanium Augment vs Bone Graft in Lateral Column Lengthening for Adult-Acquired Flatfoot Deformity. *Foot & ankle orthopaedics*. 2023;8(2):24730114231176554. doi: 10.1177/24730114231176554
14. Lima TC, Volpon JB. Calcaneal lateral column lengthening osteotomy for symptomatic flexible flatfoot in children and adolescents: a systematic review. Osteotomia de alongamento da coluna lateral do calcâneo para tratamento do pé plano flexível sintomático de crianças e adolescentes: revisão sistemática. *Rev Col Bras Cir*. 2018;45(6):e1969. doi: 10.1590/0100-6991e-20181969
15. Patent RUS № 196831/18.11.2019. Byul. № 8. Kozhevnikov OV, Bukhtin KM, Gribova IV, et al. *Ortopedicheskaya N-obraznaya rekonstruktivnaya plastina*. Available from: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42589439> (In Russ). EDN: MPGKYL
16. Vasilyev OS, Stepanik IA, Levushkin SP, Rohlin AV. Metody diagnostiki ploskostopiya u detej. Sistematičeskij obzor. *Novye issledovaniya*. 2021;(4;68):71–97. (In Russ). doi: 10.46742/2072-8840-2021-68-4-71-97
17. Choi JH, Choi YH, Kim DH, et al. Effect of flatfoot correction on the ankle joint following lateral column lengthening: A radiographic evaluation. *PLoS One*. 2023;18(11):e0286013. doi: 10.1371/journal.pone.0286013
18. Kozhevnikov OV, Gribova IV, Ogarev EV, Sosin AI, Kralina SE. *Sposob hirurgicheskogo lecheniya plosko-val'gusnoj deformacii stopy u detej starshego vozrasta s ispol'zovaniem osteotomii pyatočnoj kosti na osnove predoperacionnogo komp'yuternogo modelirovaniya*. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii zayavki na izobretenie, reg. № 2023113705/14(029063) 26.05.2023. Moscow: Rospatent; 2023.
19. Gentili A, Masih S, Yao L, Seeger LL. Pictorial review: foot axes and angles. *Br J Radiol*. 1996;69(826):968–974. doi: 10.1259/0007-1285-69-826-968
20. Jara ME. Evans Osteotomy Complications. *Foot Ankle Clin*. 2017;22(3):573–585. doi: 10.1016/j.fcl.2017.04.006
21. Dumontier TA, Falicov A, Mosca V, Sangeorzan B. Calcaneal lengthening: investigation of deformity correction in a cadaver flatfoot model. *Foot Ankle Int*. 2005;26(2):166–170. doi: 10.1177/107110070502600209
22. Mehanna J, Massaad A, Assi A, et al. Risk Factors for Failure of Calcaneal Lengthening Osteotomy in Children and Adolescents With Planovalgus Foot Deformity: A Retrospective Study. *Cureus*. 2023;15(8):e43157. doi: 10.7759/cureus.43157

## ОБ АВТОРАХ

\* Сосин Антон Игоревич;

адрес: Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10;

ORCID: 0009-0000-6399-8603;

eLibrary SPIN: 5579-2844;

e-mail: SosinAI@cito-priorov.ru

## AUTHORS' INFO

\* Anton I. Sosin;

address: 10 Priorova str., 127299 Moscow, Russia;

ORCID: 0009-0000-6399-8603;

eLibrary SPIN: 5579-2844;

e-mail: SosinAI@cito-priorov.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

**Кожевников Олег Всеволодович**, д-р мед. наук,  
ORCID: 0000-0003-3929-6294;  
eLibrary SPIN: 9538-4058;  
e-mail: kozhevnikovov@cito-priorov.ru

**Грибова Инна Владимировна**, канд. мед. наук;  
ORCID: 0000-0001-7323-0681;  
eLibrary SPIN: 5618-4231;  
e-mail: 10otdcito@mail.ru

**Кралина Светлана Эдуардовна**, канд. мед. наук,  
ORCID: 0000-0001-6956-6801;  
eLibrary SPIN: 9178-0184;  
e-mail: Kralina\_s@mail.ru

**Oleg V. Kozhevnikov**, MD, Dr. Sci. (Medicine);  
ORCID: 0000-0003-3929-6294;  
eLibrary SPIN: 9538-4058;  
e-mail: kozhevnikovov@cito-priorov.ru

**Inna V. Gribova**, MD, Cand. Sci. (Medicine);  
ORCID: 0000-0001-7323-0681;  
eLibrary SPIN: 5618-4231;  
e-mail: 10otdcito@mail.ru

**Svetlana E. Kralina**, MD, Cand. Sci. (Medicine);  
ORCID: 0000-0001-6956-6801;  
eLibrary SPIN: 9178-0184;  
e-mail: Kralina\_s@mail.ru