Оригинальное исследование | Original research
DOI: https://doi.org/10.35693/SIM655654

This work is licensed under CC BY 4.0
© Authors, 2025

Исследование кинематики ходьбы детей с ригидным плоскостопием до и после хирургического лечения

И.Ю. Ходжанов[1], Х.И. Умаров[2], Ш.К. Хакимов[3], А.Г. Мирзаев[1]

[1]ГУ «Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр травматологии и ортопедии» (Ташкент, Республика Узбекистан)
[2]Андижанский государственный медицинский институт (Андижан, Республика Узбекистан)
[3]Бухарский государственный медицинский институт имени Абу Али ибн Сина (Бухара, Республика Узбекистан)

Аннотация

Цель – изучить кинематику и кинетику ходьбы у детей с ригидным плоскостопием путем сравнения данных до и после проведенных хирургических операций.

Материал и методы. В исследование включен 51 пациент (42 мальчика и 9 девочек) с ригидным плоскостопием. Средний возраст пациентов составил 10,5 ± 1,4 года. Пациенты разделены на группы с учетом стадии заболевания. Всем пациентам проведено хирургическое лечение с применением авторской методики – «транспозиция сухожилия *m. peroneus longus* в медиальную сторону стопы, укорочение сухожилия *m. tibialis posterior* и артродезирование клиноладьевидного сустава».

Результаты. Определено, что чем выше стадия заболевания, тем более увеличены показатели «время шага», «время опоры» и уменьшены показатели «время переноса», «средняя скорость ходьбы» и «частота шагов» (<0,01–0,001). Также от стадии заболевания зависят степень патоморфологических изменений в области стопы на фоне нарушения биомеханической особенности мышц-пронаторов и мышц-супинаторов области голени и потеря высокой энергии при ходьбе.

Заключение. Оценка кинематики ходьбы в дополнение к таким методам диагностики ригидного плоскостопия, как рентгенография и подометрия, полезна для определения эффективных и точных методов лечения заболевания. Предложенный метод коррекции с учетом стадии заболевания позволяет устранить все компоненты ригидной формы плоскостопия, ликвидировать патологическую пронацию, улучшить функцию супинации и подошвенного сгибания с адекватным восстановлением свода стопы.

Ключевые слова: плоскостопие, мышечная ригидность, кинематика, дети.
Конфликт интересов: не заявлен.

Для цитирования:
Ходжанов И.Ю., Умаров Х.И., Хакимов Ш.К., Мирзаев А.Г. **Исследование кинематики ходьбы детей с ригидным плоскостопием до и после хирургического лечения.** *Наука и инновации в медицине.* 2025;10(2):155-160.
DOI: https://doi.org/10.35693/SIM655654

Сведения об авторах
Ходжанов И.Ю. – д-р мед. наук, руководитель ортопедического отделения №2.
ORCID: 0000-0003-3964-4148
E-mail: prof.khodjanov @ mail.ru
***Умаров Хасанали Икромович** – врач травматолог-ортопед.
ORCID: 0009-0008-5466-1687
E-mail: umarovhasanboj47@gmail.com
Хакимов Ш.К. – канд. мед. наук, доцент.
ORCID: 0000-0003-3779-6025
E-mail: kuzievich_81@mail.ru
Мирзаев А.Г. – канд. мед. наук, заведующий лабораторией исследования походки.
ORCID: 0000-0001-9796-2959
E-mail: m.anvardoc@gmail.com
Автор для переписки

Получено: 12.02.2025
Одобрено: 03.04.2025
Опубликовано: 14.04.2025

Kinematic analysis of gait in children with rigid flatfoot before and after surgical treatment

Iskandar Yu. Khodjanov[1], Xasanali I. Umarov[2], Sherali K. Khakimov[3], Anvar G. Mirzaev[1]

[1]Republican specialized scientific and practical medical center traumatology and orthopaedics (Tashkent, Uzbekistan Republic)
[2]Andijan State Medical Institute (Andijan, Uzbekistan Republic)
[3]Bukhara State Medical Institute named after Abu Ali ibn Sino (Bukhara, Uzbekistan Republic)

Abstract

Aim – to study the kinematics and kinetics of walking in children with rigid flatfoot by comparing data before and after surgical operations.

Material and methods. The study included 51 patients (42 boys, 9 girls) with rigid flatfoot, with a mean age of 10.5 ± 1.4 years. They were stratified by disease stage and underwent surgical treatment using the author's technique: 'transposition of the *m. peroneus longus* tendon medially, shortening of the *m. tibialis posterior* tendon, and arthrodesis of the cuneo-navicular joint'.

Results. It was found that higher disease stages correlated with increased step time and support time, and decreased swing time, average walking speed, and step frequency (<0.01 to <0.001). Disease progression also exacerbated pathomorphological changes in the foot, driven by biomechanical dysfunction of the lower leg's pronator and supinator muscles, alongside reduced gait energy efficiency.

Conclusion. Gait kinematic assessment, when combined with standard diagnostic tools for rigid flatfoot (e.g., radiography and podometry), enhances the identification of effective and precise treatment strategies. The proposed disease stage-adjusted corrective approach addresses all components of rigid flatfoot: it eliminates pathological pronation, restores supination and plantar flexion function, and achieves adequate foot arch reconstruction.

Keywords: flatfoot, muscle rigidity, kinematics, children.
Conflict of interest: nothing to disclose.

Citation
Khodjanov IYu, Umarov XI, Khakimov ShK, Mirzaev AG. **Kinematic analysis of gait in children with rigid flatfoot before and after surgical treatment.** *Science and Innovations in Medicine*. 2025;10(2):155-160. DOI: https://doi.org/10.35693/SIM655654

Information about authors
Iskandar Yu. Khodjanov – MD, Dr. Sci. (Medicine), Head of orthopedic department No. 2.
ORCID: 0000-0003-3964-4148
E-mail: prof.khodjanov@mail.ru
***Xasanali I. Umarov** – MD, traumatologist-orthopedist.
ORCID: 0009-0008-5466-1687
E-mail: umarovhasanboj47@gmail.com
Sherali K. Khakimov – Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor.
ORCID: 0000-0003-3779-6025
E-mail: kuzievich_81@mail.ru
Anvar G. Mirzaev – Cand. Sci. (Medicine),
Head of the Gait Laboratory.
ORCID: 0000-0001-9796-2959
E-mail: m.anvardoc@gmail.com
Corresponding Author

Received: 12.02.2025
Accepted: 03.04.2025
Published: 14.04.2025

ВВЕДЕНИЕ

Ригидное плоскостопие представляет собой наиболее распространенный вид нарушения функции стопы [1]. Оно характеризуется понижением продольного свода стопы, однако на самом деле является трехмерной деформацией, включающей вальгусную деформацию заднего отдела стопы, отведение переднего отдела стопы и пронацию, обусловленную тяжестью патологии стопы [2, 3]. При ригидном плоскостопии нарушается стереотип нормальной ходьбы и формируется новый тип патологической ходьбы. Изучение патологических двигательных стереотипов позволяет диагностировать причины и патогенез заболевания, а также выделить его индивидуальные и клинические варианты [4, 5].

Лечение ригидной формы плоскостопия имеет свои особенности в отличие от мобильной формы данной патологии и часто требует проведения инвазивных хирургических вмешательств [6]. Хирургическая коррекция ригидной формы плоскостопия различается техникой и объемом проводимых вмешательств – от методов, применяемых в мягких тканях с изменением конфигурации таранной кости с транспозицией сухожилий и мышц, до способов, применяемых в костной ткани с использованием разных металлофиксаторов [7]. Однако послеоперационные отдаленные результаты остаются непрогнозируемыми и нередко не устраивают как пациентов и их родителей, так и самих ортопедов, в частности в силу того, что возникает необходимость постоянного ношения ортопедических изделий для устранения клинических симптомов [8]. Это связано с отсутствием данных о характеристике патогенетических элементов ригидной формы плоскостопия, биомеханического нарушения нервно-мышечной структуры области голени и стопы в зависимости от тяжести и этапов заболевания, а также с тем, что при выборе метода коррекции у больных с ригидным плоскостопием они никак не учитываются [9].

В настоящее время актуальной задачей является изучение кинетики и кинематики движения при ригидном плоскостопии путем использования современных методов исследования, таких как видеосъемка ходьбы и трехмерная запись движений в лаборатории походки.

ЦЕЛЬ

Изучить кинетику и кинематику ходьбы у детей с ригидным плоскостопием путем сравнения данных до и после проведенных хирургических операций.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Группу исследования составил 51 пациент (42 мальчика и 9 девочек) с ригидным плоскостопием, которые наблюдались и лечились в Андижанской детской многопрофильной клинике в период 2019–2024 гг. Средний возраст пациентов составил 10,5 года (от 7 до 16 лет).

Основываясь на классификации M.S. Myerson (1997), мы разработали новый алгоритм классификации детей с ригидным плоскостопием[1]. В отличие от классификации Myerson в III и IV стадии заболевания мы включили спастическую контрактуру сухожилия *m. peroneus longus*, которая играет особую роль в патоморфологических изменениях области стопы и голеностопного сустава при ригидном плоскостопии (**таблица 1**).

Из данных таблицы 1 видно, что по клинической форме чаще встречалась приобретенная форма – в 41 (80,5%) случае против 10 (19,5%) случаев врожденной этиологии данного заболевания. По стадии заболевания наиболее часто регистрировались больные с III стадией – в 22 (43,1%) случаях, а также отмечались случаи со спастической контрактурой сухожилия *m. peroneus longus* – в 13 (25,5%) случаях (III B подгруппа) среди больных III стадии и в 8 (15,7%) случаях (IV B подгруппа) с IV стадией данного заболевания.

Функциональное состояние *m. peroneus longus* играет главную роль в превращении мобильной формы плоскостопия в ригидную форму. Также большое значение имеет транспозиция сухожилия этой мышцы в супинаторную сторону при хирургической коррекции.

Всем пациентам (51 человек) был выполнен метод коррекции ригидной формы плоскостопия «транспозиция сухожилия *m. peroneus longus* в медиальную сторону стопы, укорочение сухожилия *m. tibialis posterior* и артродезирование клиноладьевидного сустава»[2].

Суть метода заключается в клиновидной резекции суставных поверхностей ладьевидной и клиновидных костей (угол клина открыт к подошвенной поверхности), формировании тоннеля в клиновидную кость, реинсерции места прикрепления сухожилия *m. tibialis posterior*, укорочении ее сухожилия путем натягивания и погружения в сформированный тоннель клиновидной кости, транспозиции сухожилия *m. peroneus longus* в медиальную сторону и прикреплении к сухожилию *m. tibialis posterior* и фиксации спицами клиноладьевидного сустава в виде треугольника с формированием свода стопы.

Важно понимать, что при ригидной форме плоскостопия даже после его устранения ходьба у пациентов будет разной. Для дифференциации этих различий ходьбы мы провели анализ ходьбы в лаборатории походки. При исследовании мы учитывали тяжесть заболевания, возраст пациентов и их антропометрические данные. В исследовании участвовали 13 пациентов со II степенью тяжести заболевания,

[1] Алгоритм зарегистрирован в Агентстве интеллектуальной собственности Республики Узбекистан (№DGU42326, 2024).
[2] Патент на изобретение №FAP 2416 (2024) зарегистрироан в Агентстве интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

Стадия заболевания / Клинические формы	I ст.	II ст. (n=13)	III ст. (n=22)		IV ст. (n=16)	
			III A (n=9)	III B (n=13)	IV A (n=8)	IV B (n=8)
Врожденная форма n=10 (19,5%)	0	2 (3,9%)	2 (3,9%)	2 (3,9%)	3 (5,9%)	1 (1,9%)
Приобретенная форма n=41 (80,5%)	0	11 (21,6%)	7 (13,7%)	11 (21,6%)	5 (9,9%)	7 (13,7%)

Таблица 1. *Распределение больных по клинической форме и стадии ригидного плоскостопия*
Table 1. *Distribution of patients by clinical form and stage of rigid flatfoot*

22 пациента – с III степенью тяжести и 16 пациентов – с IV степенью тяжести. Средний рост пациентов составил 126,5 см (от 126 до 162 см) для мальчиков и 138,6 см (от 133 до 146 см) для девочек. Средний вес пациентов составил среди мальчиков 32,5 ± 2,4 кг (от 21 до 62 кг) и среди девочек 28,2 ± 3,1 кг (от 26 до 41 кг) соответственно.

Для анализа походки была выполнена видеосъемка ходьбы и трехмерная запись движений в лаборатории походки Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра травматологии и ортопедии.

Диапазон движений каждого сустава измерялся с помощью гониометра, включая подошвенное сгибание и разгибание голеностопного сустава. При измерении разгибания стопа слегка выворачивалась, чтобы можно было зафиксировать подтаранный сустав и избежать дополнительного разгибания в нем.

Для трехмерного захвата движения были прикреплены пассивные отражающие маркеры в соответствии с протоколом Helen Hayes. Для оптического отслеживания маркеров использовалась система BTS Bioengineering (Италия, 2023), состоящая из восьми цифровых камер.

Походка испытуемых фиксировалась во время нескольких прохождений ими по дорожке длиной 12 метров со средней скоростью. Частота захвата движения была установлена на уровне 120 кадров в секунду (120 Гц).

Сила реакции грунта (GRF) была измерена с помощью четырех силовых пластин, установленных в центре дорожки. GRF между конечностью и поверхностью во время фазы опоры измерялся с помощью силовых платформ.

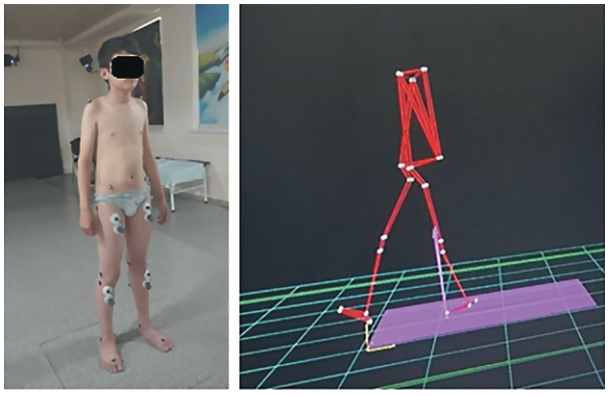

Рисунок 1. *А – внешний вид исследуемого пациента; Б – система координат углов Эйлера для измерения GRF.*
Figure 1. *A – appearance of the patient under study; B – coordinate system of Euler angles for measuring GRF.*

Система координат углов Эйлера для измерения GRF была установлена, как показано **на рисунке 1**.

РЕЗУЛЬТАТЫ

С помощью лаборатории походки мы исследовали такие показатели, как «время шага», сек; «время опоры», сек; «время переноса», сек; «фаза опоры», %; «фаза переноса», %; «фаза одноопорного периода», %; «фаза двухопорного периода», %; «средняя скорость», м/с; «частота шагов», шагов/мин. Полученные результаты были соотнесены с нормативными показателями. Одним из основных показателей,

Параметры	Правая нижняя конечность	Левая нижняя конечность	Нормативные показатели	p-значение
Время шага (с)	1,33 ± 0,07	1,33 ± 0,04	0,93 ± 0,04	<0,001
	0,98 ± 0,05	0,97 ± 0,04		
Время опоры (с)	0,82 ± 0,04	0,80 ± 0,03	0,54 ± 0,05	<0,001
	0,60 ± 0,02	0,56 ± 0,05		
Время переноса (с)	0,51 ± 0,03	0,53 ± 0,01	0,39 ± 0,03	0,01
	0,38 ± 0,02	0,41 ± 0,02		
Фаза опоры (%)	61,2 ± 2,88	61,2 ± 3,4	57,97 ± 1,93	<0,05
	60,2 ± 2,1	60,1 ± 1,4		
Фаза переноса (%)	38,6 ± 2,4	38,8 ± 2,1	42,03 ± 1,93	<0,001
	40,5 ± 2,6	41,8 ± 2,5		
Фаза одноопорного периода (%)	37,3 ± 2,9	40,5 ± 1,4	39,28 ± 0,25	<0,05
	38,3 ± 2,9	40,1 ± 1,1		
Фаза двухопорного периода (%)	10,75 ± 2,4	8,5 ± 2,3	12,4 ± 2,21	>0,05
	11,5 ± 2,2	11,9 ± 2,1		
Средняя скорость (м/с)	0,86 ± 0,1		1,2 ± 0,2	0,01
	1,16 ± 0,3			
Частота шагов (шагов/мин.)	86,3 ± 5,6		129,6 ± 8,4	<0,001
	125,5 ± 4,5			

Таблица 2. *Сравнительный анализ результатов 13 больных со II стадией заболевания до и после операции*
Table 2. *Comparative analysis of results of 13 patients with stage II of the disease before and after surgery*

Параметры	Правая нижняя конечность	Левая нижняя конечность	Нормативные показатели	p-значение
Время шага (с)	1,39 ± 0,07	1,40 ± 0,04	0,93 ± 0,04	<0,001
	1,15 ± 0,05	1,16 ± 0,03		
Время опоры (с)	0,83 ± 0,04	0,87 ± 0,02	0,54 ± 0,05	0,01
	0,61 ± 0,03	0,60 ± 0,02		
Время переноса (с)	0,56 ± 0,03	0,53 ± 0,02	0,39 ± 0,03	0,01
	0,54 ± 0,02	0,56 ± 0,01		
Фаза опоры (%)	61,6 ± 3,6	61,8 ± 2,8	57,97 ± 1,93	0,01
	59,6 ± 4,4	59,8 ± 1,8		
Фаза переноса (%)	38,4 ± 1,9	38,2 ± 2,2	42,03 ± 1,93	<0,001
	39,1 ± 2,9	40,3 ± 3,1		
Фаза одноопорного периода (%)	37,4 ± 2,7	40,9 ± 1,7	39,28 ± 0,25	0,01
	38,6 ± 3,5	39,9 ± 1,1		
Фаза двухопорного периода (%)	10,75 ± 2,4	9,7 ± 2,6	12,4 ± 2,21	<0,05
	11,6 ± 1,6	11,8 ± 1,04		
Средняя скорость (м/с)	0,79 ± 0,1		1,2 ± 0,2	<0,001
	1,12 ± 0,2			
Частота шагов (шагов/мин.)	82,7 ± 5,2		129,6 ± 8,4	0,01
	124,9 ± 3,1			

Таблица 3. *Сравнительный анализ результатов 22 больных с III стадией заболевания до и после операции*
Table 3. *Comparative analysis of results of 22 patients with stage III of the disease before and after the surgery*

характеризующих свойства ходьбы, является показатель «время шага», который образуется из сложения значения таких показателей, как «время опоры» и «время переноса».

При анализе данных 13 больных со II стадией заболевания значения показателя «время шага» обеих нижних конечностей были на 43% выше стандартных значений (p=0,001). Выше стандартных нормативов были зафиксированы значения таких показателей, как «время опоры» (на 52%) и «время переноса» (на 31%). Между результатами выявлена статистическая значимость (p=0,001).

По результатам анализа данных (с видеосъемкой и трехмерной записью движений предоперационного периода) походки больных со II стадией ригидной формы плоскостопия было выявлено, что эти пациенты теряют минимальную энергию во время ходьбы на фоне отсутствия ригидной контрактуры или спазма сухожилия *m. peroneus longus*, а также сохранности мобильностного свойства свода стопы с минимальными дегенеративными изменениями в плюсневых суставах. Также у больных со II стадией заболевания диагностировалась волокнистая форма коалиции между плюсневыми костями.

Предоперационные результаты показателей «время шага», «время опоры» и «время переноса» оказали существенное влияние на «среднюю скорость» и «частоту шагов», которые были ниже нормативных результатов. Показатель «средняя скорость» составил 0,86 ± 0,1 м/с (в норме 1,2 ± 0,2 м/с), «частота шагов» – 86,3 ± 5,6 шага за 1 минуту (в норме 129,6 ± 8,4). Полученные результаты продемонстрировали статистическую значимость (p=0,001) (**таблица 2**).

Проведенные операции обеспечили благоприятные условия для улучшения рессорной функции стопы с минимальной потерей энергии во время ходьбы. Необходимости в ликвидации коалиции между плюсневыми костями не было. После оперативной коррекции заболевания у больных со II стадией значение показателя «время шага» на обеих нижних конечностях улучшилось и составило 0,93 ± 0,05 (<0,01–0,001). «Время опоры» составило 0,60 ± 0,02

Параметры	Правая нижняя конечность	Левая нижняя конечность	Нормативные показатели	p-значение
Время шага (с)	1,43 ± 0,04	1,44 ± 0,05	0,93 ± 0,04	<0,001
	1,18 ± 0,06	1,19 ± 0,06		
Время опоры (с)	0,86 ± 0,02	0,86 ± 0,03	0,54 ± 0,05	<0,001
	0,63 ± 0,02	0,62 ± 0,03		
Время переноса (с)	0,57 ± 0,02	0,58 ± 0,02	0,39 ± 0,03	<0,001
	0,55 ± 0,04	0,57 ± 0,03		
Фаза опоры (%)	63,1 ± 4,6	63,5 ± 4,6	57,97 ± 1,93	<0,05
	60,8 ± 4,5	60,9 ± 4,6		
Фаза переноса (%)	35,9 ± 5,3	35,2 ± 5,1	42,03 ± 1,93	<0,001
	38,2 ± 2,3	38,8 ± 6,1		
Фаза одноопорного периода (%)	35,6 ± 4,7	38,6 ± 4,9	39,28 ± 0,25	<0,05
	38,4 ± 2,2	38,9 ± 0,35		
Фаза двухопорного периода (%)	8,72 ± 2,9	8,6 ± 2,7	12,4 ± 2,21	<0,05
	10,79 ± 3,9	10,89 ± 1,85		
Средняя скорость (м/с)	0,73 ± 0,30		1,2 ± 0,2	<0,001
	1,05 ± 0,05			
Частота шагов (шагов/мин.)	76,2 ± 9,1		129,6 ± 8,4	<0,001
	115,2 ± 7,4			

Таблица 4. *Сравнительный анализ результатов 16 больных с IV стадией заболевания до и после операции*
Table 4. *Comparative analysis of results of 16 patients with stage IV of disease before and after the surgery*

и «время переноса» – 0,38 ± 0,02, что оказалось статистически значимым (p=0,001). Улучшение шаговых показателей привело к ускорению показателя «средняя скорость» от 0,86 ± 0,1 до 1,16 ± 0,3 при стандартном значении 1,2 ± 0,2 (p=0,001) и к учащению частоты шагов от 86,3 ± 5,6 до 125,5 ± 4,5 при стандартном значении 129,6 ± 8,4 (p=0,001).

У 22 больных с III стадией заболевания значения показателей «время шага», «время опоры» и «время переноса» были значимо выше стандартных значений – на 49%, 54% и 43% соответственно (p=0,001). Шаговые показатели существенно влияли на «среднюю скорость» и «частоту шагов». Показатель «средняя скорость» составил в предоперационном периоде 0,79 ± 0,1 м/с, что является значимым снижением по сравнению со стандартным значением 1,2 ± 0,2 м/с. «Частота шагов» за 1 минуту составила 82,7 ± 5,2, что существенно ниже стандартного значения 129,6 ± 8,4. Полученные результаты отличались статистической значимостью (p=0,001) (**таблица 3**).

Длительное сплющенное положение свода стопы и ригидный спазм сухожилия *m. peroneus longus* у больных с III стадией ригидной формы плоскостопия приводят к выраженным дегенеративным изменениям с появлением волокнистой или хрящевой формы коалиции в плюсневых суставах. Дополнительное нарушение или дисфункция сухожилия *m. tibialis posterior* приводят к значительному нарушению рессорной функции свода стопы с высокой потерей энергии во время ходьбы.

При III стадии заболевания необходимо в первую очередь ликвидировать коалицию, что дает незначительную мобильность в межплюсневых суставах, а затем переместить сухожилие *m. peroneus longus* в супинаторную сторону и укоротить сухожилие *m. tibialis posterior*. Это позволяет добиться перехода ригидной формы плоскостипия в мобильную форму, заметно улучшив при этом функцию мышц, отвечающих за рессорную функцию области голени и стопы, и минимизировав потери энергии при ходьбе. Послеоперационные результаты показали заметное приближение значений к нормативам (p=0,001).

У 16 пациентов с IV стадией заболевания значения показателей «время шага», «время опоры» и «время переноса» были значимо увеличены на 54%, 59% и 46% соответственно (p<0,001). Также значимо снижены показатели «средняя скорость» и «частота шагов». Значение показателя «средняя скорость» снижено до 0,73 ± 0,03 м/с в предоперационном периоде, что является статистически значимым снижением по сравнению со стандартным значением 1,2 ± 0,2 м/с), а «частота шагов» за 1 минуту снижена до 76,2 ± 9,1 шага/мин. по сравнению со стандартным показателем 129,6±8,4 шага/мин. (p=0,001) (**таблица 4**).

У больных с IV стадией заболевания наблюдаются хрящевая или костная форма коалиции между плюсневыми суставами и высокий ригидный спазм сухожилия *m. peroneus longus*, что свидетельствует о значительной дисфункции рессорной функции свода стопы и артрозе таранно-пяточного сустава. Рессорная функция свода стопы значительно нарушена с очень высокой потерей энергии во время ходьбы даже на небольшое расстояние.

Сначала мы ликвидировали хрящевую или костную коалицию, а затем переместили сухожилие *m. peroneus longus* в медиальную сторону стопы с укорочением сухожилия *m. tibialis posterior*. Таким образом была достигнута необходимая мобилизация свода стопы.

Эффективная работа мышц-супинаторов и рессорная функция стопы после операции адекватно восстановились, однако болевой синдром в области голеностопного сустава сохранялся из-за артроза плюсневых суставов. Послеоперационные значения показателей «время шага», «время опоры» и «время переноса» значимо снижены до 1,18 ± 0,06 от 1,43 ± 0,04 сек., до 0,63 ± 0,02 от 0,86 ± 0,02 сек. и до 0,55 ± 0,04 от 0,57 ± 0,02 сек. соответственно (p<0,001). «Средняя скорость» в послеоперационном периоде увеличилась до 1,05 ± 0,05 м/с (стандарт 1,2±0,2 м/с). Показатель «частота шагов» за 1 минуту также повысился до 115,2 ± 7,4 шага/мин., что значительно ближе к стандартному нормативу (129,6 ± 8,4 шага/мин.). Полученные результаты отличались уровнем статистической значимости (p<0,001).

ОБСУЖДЕНИЕ

Ригидное плоскостопие характеризуется укорочением плеча рычага из-за отведения переднего отдела стопы и вальгусной деформации пятки со снижением силы рычага и соответственно показателя гибкости среднего отдела стопы [10]. При плоскостопии наблюдается нарушение функции рычага с точки зрения кинетики и происходит потеря кинетической энергии. Из-за этого возникают такие симптомы, как мышечная усталость после ходьбы на большие расстояния, дискомфорт или боль в стопе, голени или коленном суставе [11, 12].

Исследования показали, что подошвенное сгибание у пациентов было уменьшено в той же степени, что и тыльное сгибание в голеностопном суставе. При плоскостопии угол между таранной и ладьевидной костями увеличен. Таким образом, энергия, необходимая для супинации и инверсии, чтобы стопа стала устойчивым рычагом во время ходьбы, должна была быть больше [13, 14].

В практике подиатрии существует более 100 способов хирургической коррекции плосковальгусной стопы, но при этом оптимального метода оперативного лечения не разработано. Все методы операций у пациентов детского возраста сгруппированы следующим образом: операции в мягких тканях, операции на костной ткани и вне ее, а также внутрисуставные хирургические вмешательства [15, 16]. В большинстве случаев хорошие результаты достигаются при комбинировании хирургических методов [17, 18].

При этом доля разных осложнений и случаев рецидивирования довольно высока – 23,7%. С учетом многокомпонентности характристик морфологического изменения в суставах стопы и многофакторности причин возникновения плоскостопия требуется индивидуальный подход к разработке показаний и выбору метода коррекции в каждом случае [19–22].

ВЫВОДЫ

1. Оценка кинематики ходьбы в дополнение к таким методам диагностики ригидного плоскостопия, как рентгенография и подометрия, полезна для определения эффективных и точных методов лечения заболевания.

2. В ходе исследования была измерена степень кинетической потери во время ходьбы у пациентов с ригидным плоскостопием, выявлена биомеханическая зависимость

между степенью потери энергии и стадией ригидного плоскостопия.

3. Предложенный метод коррекции с учетом стадии заболевания позволяет одномоментно устранить все компоненты ригидной формы плоскостопия, ликвидировать патологическую пронацию, улучшить функцию супинации и подошвенного сгибания с адекватным восстановлением свода стопы.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	ADDITIONAL INFORMATION
Этическая экспертиза. Все пациенты (их законные представители) дали информированное согласие на участие в исследовании.	***Ethical review.*** All patients (their legal representatives) gave informed consent to participate in the study.
Источник финансирования. Исследование выполнено при финансовой поддержке ГУ «Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр травматологии и ортопедии» (Ташкент, Республика Узбекистан).	***Study funding.*** The study was carried out with the financial support of the State Institution "Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center for Traumatology and Orthopedics" (Tashkent, Republic of Uzbekistan).
Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи.	***Conflict of interest.*** The authors declare that there are no obvious or potential conflicts of interest associated with the content of this article.
Участие авторов. И.Ю. Ходжанов – идея исследования, редактирование статьи. Х.И. Умаров – написание текста. Ш.К. Хакимов – статистическая обработка данных, обзор литературы. Мирзаев А.Г. – проведение анализа в лаборатории походки и обработка данных. Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией, выразили согласие нести ответственность за все аспекты работы, подразумевающую надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с точностью или добросовестностью любой части работы.	***Contribution of individual authors.*** I.Yu. Khodjanov: idea of the research, editing of the article. X.I. Umarov: writing of the text. Sh.K. Khakimov: statistical data processing, literature review. A.G. Mirzaev: performing gait in lab analysis and data processing. The authors gave their final approval of the manuscript for submission, and agreed to be accountable for all aspects of the work, implying proper study and resolution of issues related to the accuracy or integrity of any part of the work

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Pourghazi F, Nabian MH, Bakht SS, et al. Changes in gait pattern and quality of life of adolescents with flexible flat foot after Calcaneal Lengthening Osteotomy. *Foot*. 2023;57:101962. DOI: 10.1016/j.foot.2023.101962

2. Boryczka-Trefler A, Kalinowska M, Szczerbik E, et al. Effect of Plano-Valgus Foot on Lower-Extremity Kinematics and Spatiotemporal Gait Parameters in Children of Age 5–9. *Diagnostics*. 2022;12(1):2. DOI: 10.3390/diagnostics12010002

3. Stief F, Böhm H, Michel K, et al. Reliability and accuracy in three-dimensional gait analysis: a comparison of two lower body protocols. *J Appl Biomech*. 2013;29:105-111. DOI: 10.1123/jab.29.1.105

4. Levinger P, Murley GS, Barton CJ, et al. A comparison of foot kinematics in people with normal- and flat-arched feet using the Oxford Foot Model. *Gait Posture*. 2010;32(4):519-523. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2010.07.013

5. Kim HY, Cha YH, Lee JS, et al. Changes in gait and radiographic and clinical results of calcaneal lengthening osteotomy in children with idiopathic flexible flatfoot. *Clin Orthop Surg*. 2020;12:386-395. DOI: 10.4055/cios19150

6. Krautwurst BK, Wolf SI, Dreher T. Three-dimensional evaluation of heel raise test in pediatric planovalgus feet and normal feet. *Gait Posture*. 2016;48:146-151. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2016.05.003

7. Mosca VS. Flexible flatfoot in children and adolescents. *J Child Orthop*. 2010;4(2):107-21. DOI: 10.1007/s11832-010-0239-9

8. Kim HY, Shin HS, Ko JH, et al. Gait Analysis of Symptomatic Flatfoot in Children: An Observational Study. *CiOS. Clin Orthop Surg*. 2017;9:363-373. DOI: 10.4055/cios.2017.9.3.363

9. Caravaggi P, Sforza C, Leardini A, et al. Effect of plano-valgus foot posture on midfoot kinematics during barefoot walking in an adolescent population. *J Foot Ankle Res*. 2018;11:55. DOI: 10.1186/s13047-018-0297-7

10. Portinaro N, Leardini A, Panou A, et al. Modifying the Rizzoli foot model to improve the diagnosis of pes-planus: Application to kinematics of feet in teenagers. *J Foot Ankle Res*. 2014;7:57. DOI: 10.1186/s13047-014-0057-2

11. Wenger DR, Mauldin D, Speck G, et al. Corrective shoes and inserts as treatment for flexible flatfoot in infants and children. *J Bone Joint Surg Am*. 1989;71(6):800-10. PMID: 2663868

12. Das SP, Das PB, Ganesh S, et al. Effectiveness of surgically treated symptomatic plano-valgus deformity by the calcaneo stop procedure according to radiological, functional and gait parameters. *J Taibah Univ Med Sci*. 2017;12;102-109. DOI: 10.1016/j.jtumed.2016.11.009

13. Twomey D, McIntosh A. The effects of low arched feet on lower limb gait kinematics in children. *Foot*. 2012;22:60-65. DOI: 10.1016/j.foot.2011.11.005

14. Twomey D, McIntosh A, Simon J, et al. Kinematic differences between normal and low arched feet in children using the Heidelberg foot measurement method. *Gait Posture*. 2010;32:1-5. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2010.01.021

15. Papamerkouriou Y-M, Rajan R, Chaudhry S, et al. Prospective early clinical, radiological, and kinematic pedobarographic analysis following subtalar arthroereises for paediatric pes planovalgus. *Cureus*. 2019;11:e6309. DOI: 10.7759/cureus.6309

16. Böhm H, Stebbins J, Kothari A, Dussa CU. Dynamic gait analysis in paediatric flatfeet: unveiling biomechanical insights for diagnosis and treatment. *Children*. 2024;11(5):604. DOI: 10.3390/children11050604

17. Ghazaleh L, Hoseini Y, Masoomi F, et al. Ground reaction force analysis in flexible and rigid flatfoot subjects. *J Bodyw Mov Ther*. 2024;39:441-446. DOI: 10.1016/j.jbmt.2024.02.020

18. Bauer K, Mosca VS, Zionts LE. What's New in Pediatric Flatfoot? *J Pediatr Orthop*. 2016;36:865-869. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000582

19. MacInnes P, Lewis TL, et al. Surgical management of pes planus in children with cerebral palsy: A systematic review. *J Child Orthop*. 2022;16:333-346. DOI: 10.1177/18632521221112496

20. Cen X, Yu P, Song Y, et al. Influence of medial longitudinal arch flexibility on lower limb joint coupling coordination and gait impulse. *Gait Posture*. 2024;114:208-214. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2024.10.002

21. Ha Yong Kim, Hyuck Soo Shin, Jun Hyuck Ko, et al. Gait analysis of symptomatic flatfoot in children: anobservational study. *Clin Orthop Surg*. 2017;9(3):363-373. DOI: 10.4055/cios.2017.9.3.363

22. Saraswat P, Macwilliams Ba, Davis Rb, D'astous Jl. Kinematics and kinetics of normal and planovalgus feet during walking. *Gait Posture*. 2014;39(1):339-45. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2013.08.003