

DOI: <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2025.3.39>

Реакция нервно-мышечного и сосудистого аппарата стопы при традиционной и малоинвазивной стратегии хирургической коррекции плоскостопия у подростков

О.Н. Васько, И.А. Ильясевич, О.А. Соколовский

Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии», г. Минск, Республика Беларусь

Вестник ВГМУ. – 2025. – Том 24, №3. – С. 39–48.

The reaction of the neuromuscular and vascular foot apparatus in conventional and minimally invasive surgical correction of flat feet in adolescents

O.N. Vasko, I.A. Ilyasevich, O.A. Sokolovsky

Republican Scientific and Practical Centre of Traumatology and Orthopedics, Minsk, Republic of Belarus

Vestnik VGMU. 2025;24(3):39-48.

Резюме.

Одной из наиболее распространенных патологических установок стоп у детей и подростков является плоскостопие, сопровождающееся укорочением ахиллова сухожилия. В основе формирования данной патологии лежит функциональная недостаточность мышечного аппарата нижних конечностей, прогрессирующая по мере роста и развития организма.

Цель – изучить особенности восстановления функций нервно-мышечной и опорно-двигательной систем нижних конечностей у пациентов с плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия, в зависимости от метода хирургического лечения.

Материал и методы. Выполнен сравнительный анализ данных нейрофизиологического, биомеханического и доплерографического исследований в двух группах пациентов (средний возраст $12 \pm 0,5$ лет) с плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия, в зависимости от метода хирургической коррекции деформации стопы.

Заключение. Метод малоинвазивного хирургического лечения компонентов деформации, заключающийся в частичном пересечении апоневроза икроножной мышцы, создает оптимальные условия для более быстрого и полного восстановления функции центральных и периферических звеньев нервно-мышечного аппарата, а, следовательно, для улучшения опороспособности стопы и формирования правильного стереотипа движения.

Ключевые слова: плоскостопие, сопровождающееся укорочением ахиллова сухожилия, нейрофизиологическое исследование, метод частичного рассечения латеральной порции апоневроза икроножной мышцы.

Abstract.

One of the most common pathologies of the feet in children and adolescents is flatfoot accompanied by the Achilles tendon shortening. The cause of this pathology development is the functional insufficiency of the muscular apparatus of the lower extremities, progressing with the growth and development of the organism.

Objectives. To study the peculiarities of restoring the functions of the lower limb neuromuscular and musculoskeletal systems in patients with flatfoot accompanied by the Achilles tendon shortening depending on the method of surgical treatment.

Material and methods. The comparative data analysis of neurophysiological, biomechanical and Doppler studies in two groups of patients (the average age was 12 ± 0.5 years) with flat foot accompanied by the Achilles tendon shortening depending on the method of the foot deformity surgical correction was performed.

Conclusions. The method of minimally invasive surgical treatment of deformity components consisting in partial crossing of the calf muscle aponeurosis creates optimal conditions for faster and more complete functional restoration of the central

and peripheral links of the neuromuscular apparatus and consequently for improvement of the foot bearing capacity and formation of the correct movement stereotype.

Keywords: flat foot accompanied by shortening of the Achilles tendon, neurophysiological study, method of partial dissection of the lateral portion of the calf muscle aponeurosis.

Введение

Стопа является важнейшим сегментом опорно-двигательного аппарата человека, обеспечивающим его стато-локомоторную функцию [1]. Нормальное функционирование стопы возможно только в случае, когда действующая на нее статическая нагрузка полностью уравнивается динамическими компонентами двигательного аппарата - крепкими мышцами и связками [2]. Нарушение функционального состояния мышечно-связочного аппарата может приводить к изменению правильных анатомических соотношений костных структур, нарушению конгруэнтности суставных поверхностей и, как следствие, деформации стопы [3, 4, 5].

Одной из наиболее распространенных патологических установок стоп, обусловленных нарушением функционального состояния мышц нижних конечностей, является плоскостопие, сопровождающееся укорочением ахиллова сухожилия [6, 7]. Данная патология имеет склонность к быстрому прогрессированию и значительно ухудшает двигательные возможности пациента [8, 9]. Наиболее очевидными данные нарушения становятся в периоды интенсивного онтогенетического развития и роста организма, когда происходит интенсивное увеличение скорости роста («пубертатный скачок роста») и усиленное развитие костной, мышечной и жировой тканей.

Для коррекции плоскостопия, сопровождающегося укорочением ахиллова сухожилия, достаточно часто применяют консервативные методы лечения. Однако данные методы далеко не всегда являются достаточно эффективными даже при легких формах деформаций стоп, не дают стойкого результата и вынуждают пациента дополнительно постоянно использовать ортопедические пособия [10, 11, 12].

Хирургические методы лечения плоскостопия, сопровождающегося укорочением ахиллова сухожилия, различаются по технике и объему вмешательства. Однако, несмотря на то, что хирургическая коррекция деформации способна радикально исправить нарушенные костные и

мышечно-связочные анатомические взаимоотношения, эффект этих операций, в особенности отдаленный результат, не всегда соответствует ожиданиям врача и пациента [13, 14, 15, 16].

Таким образом, целью данного исследования являлось определение особенностей восстановления функций нервно-мышечной и опорно-двигательной систем нижних конечностей у пациентов с плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия, в зависимости от метода хирургического лечения.

Материал и методы

В исследование включены 20 пациентов (все мальчики, средний возраст $12 \pm 0,5$ лет) с двусторонним плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия. В зависимости от применяемых методом хирургической коррекции компонентов деформации выделены две клинические группы: I группа (n=10) – пациенты, получавшие лечение методом частичного рассечения латеральной порции апоневроза икроножной мышцы в сочетании с артроризом подтаранного сустава; II группа (n=10) – пациенты, получавшие лечение методом полного рассечения апоневроза икроножной мышцы в сочетании с артроризом подтаранного сустава. Контрольную группу составили 10 здоровых лиц того же возраста без травматолого-ортопедической патологии.

Комплексное обследование обеих групп пациентов было проведено до и после хирургического лечения (через 1,5; 3; 6; 9; 12 месяцев) с помощью нейрофизиологического, биомеханического и доплерографического методов исследования.

Нейрофизиологическое исследование включало применение методов суммарной электромиографии (ЭМГ), стимуляционной ЭМГ, транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) с синхронной регистрацией моторного ответа мышцы, а также регистрацию соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП) при электрической стимуляции периферического нерва.

Методом суммарной ЭМГ регистрировали биоэлектрическую активность (БА) мышц ниж-

них конечностей при максимальном произвольном напряжении. С помощью стимуляционной ЭМГ осуществляли регистрацию вызванных мышечных ответов (М-ответов) мышц стоп (*mm. extensor digitorum brevis, abductor hallucis*), возникающих при электрическом раздражении периферических нервов нижних конечностей (*nn. peroneus, tibialis*). Определяли амплитуду и латентное время М-ответов, а также рассчитывали скорость эфферентного проведения импульса по периферическим нервам конечностей.

Для оценки функционального состояния восходящих путей спинного мозга осуществляли регистрацию ССВП при электрической стимуляции большеберцового нерва в области медиальной лодыжки. Регистрировали спинальный ССВП-пик N_{22} (ответ нейронов конуса СМ) и позитивно-негативный корковый комплекс P_{38} - N_{45} . Рассчитывали время центрального сенсорного проведения импульса (ССТ-central conductiv time) по сенсорным путям спинного мозга как разницу временных интервалов между спинальным пиком и корковым комплексом.

Состояние нисходящих путей спинного мозга и соответствующих двигательных корешков оценивали при помощи транскортикальной и сегментарной (корешковой) магнитной стимуляции (ТМС и КМС соответственно). Для получения кортикальных моторных ответов (МО) магнитный индуктор ориентировали в проекции соответствующих моторных зон головного мозга, являющихся корковым представителем мышц нижних конечностей. Для регистрации сегментарных МО магнитную катушку ориентировали над остистыми отростками соответствующих позвонков в поясничной области. По разности латентного времени МО, зарегистрированных в одной и той же мышце при ТМС и КМС, рассчитывали время центрального моторного проведения импульса (ВЦМП) по двигательным путям спинного мозга.

Магистральный кровоток в сосудах нижних конечностей оценивали методом ультразвуковой доплерографии. Проводили сканирование магистральных артерий и вен нижних конечностей: *aa. и vv. femoralis, femoris superficialis, profunda femoris, poplitea, tibialis posterior, tibialis anterior, dorsalis pedis*. Определяли среднюю скорость кровотока ($V_{\text{сред}}$, см/мин), диаметр сосуда (D , см), рассчитывали кровяной поток (КП, л/мин) по формуле $0,06\pi(D/2)^2 V_{\text{сред}}$.

Для изучения характера распределения подоживленного давления использовали метод компьютерной подометрии. Пациента устанавливали на бароподометрическую платформу, располагая стопы параллельно друг другу и исключая любые дополнительные средства опоры. В процессе регистрации пациент фокусировал взгляд на специальном маркере на экране компьютера (круг диаметром 5 см на дистанции около 3 метров прямо перед глазами пациента), исключались повороты головы, покашливания, любая речь, изменение направления взгляда. От момента готовности пациента к проведению исследования до его начала проходило не менее 10 секунд. Время непосредственной регистрации давления на бароподометрическую платформу составляло 50 секунд.

По графической картине взаимодействия стопы с опорной поверхностью, отражающейся на дисплее ноутбука, получали данные о распределении давления под стопами в следующих точках: под пяточной костью, под сводной областью, а также областью пучков и головок плюсневых костей. Парциальная нагрузка на различные области стопы определялась как доля (%) от нагрузки на всю стопу.

Оборудование: многофункциональный комплекс «Нейрософт» (Россия) в комплексе с магнитным стимулятором; ультразвуковой сканер «HD-15» (Philips, USA); компьютерный комплекс «F-scan» (Tekscan, USA).

Экспериментальные данные обрабатывали с помощью методов вариационной статистики (пакет прикладных программ «Statistica 10.0», StatSoft, США). Характер распределения данных анализировали с применением критерия Шапиро-Уилка. После проверки выборки на нормальность распределения использовали параметрические и непараметрические методы. В случае нормального распределения выборки применяли параметрический метод сравнительной характеристики параметров – критерий Стьюдента и результаты представляли в виде среднего и стандартного отклонения – $M \pm SD$. При отсутствии нормального распределения выборки применяли непараметрический Т-критерий Вилкоксона для зависимых выборок, а также U критерий Манна-Уитни для независимых выборок и результаты представляли в виде медианы и интерквартильного размаха – Me (процентиль 25% – процентиль 75%). Различия считали достоверными при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Результаты

До хирургической коррекции компонентов деформации, как показано на рисунке 1, у всех пациентов с плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия, по данным суммарной ЭМГ наблюдалось статистически значимое уменьшение БА мышц нижних конечностей относительно значений физиологической нормы с преимущественным снижением двигательной активности в mm. extensor hallucis longus, gastrocnemius medialis, soleus ($p \leq 0,01$).

Результаты стимуляционной ЭМГ пациентов с данной патологической установкой стопы указывали на снижение моторной проводимости дистальной ветви малоберцового нерва (на участке стопы), выражающееся в статистически значимом ($p \leq 0,05$) уменьшении скорости эфферентного проведения импульса относительно нормативных параметров.

Параметры М-ответов (амплитуда, латентность), возникающих при электрическом раздражении большеберцового нерва, соответствовали контролю.

Снижение двигательной активности мышц

нижних конечностей у пациентов с деформацией костей стоп сопровождалось искажением структуры сенсорного потока импульсации в вышележащие отделы нервной системы, которое определяли по данным ССВП. Как видно из таблицы 1, у всех пациентов с плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия, наблюдалось статистически значимое ($p \leq 0,01$) снижение амплитуд спинальных ССВП-пиков в сочетании с выраженным ($p \leq 0,01$) удлинением времени сенсорного проведения импульса на участке пояснично-крестцовых сегментов спинного мозга.

На рисунке 2 показаны результаты исследования соматосенсорных вызванных потенциалов у подростка 12 лет с плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия, на котором видно, что, в отличие от нормы, у данного пациента выявлено выраженное уменьшение амплитуды спинального ССВП-пика в сочетании со статистически значимым удлинением времени сенсорного проведения импульса на участке пояснично-крестцовых сегментов спинного мозга.

Искажение потока афферентной информации в вышележащие отделы ЦНС сопровождалось на-

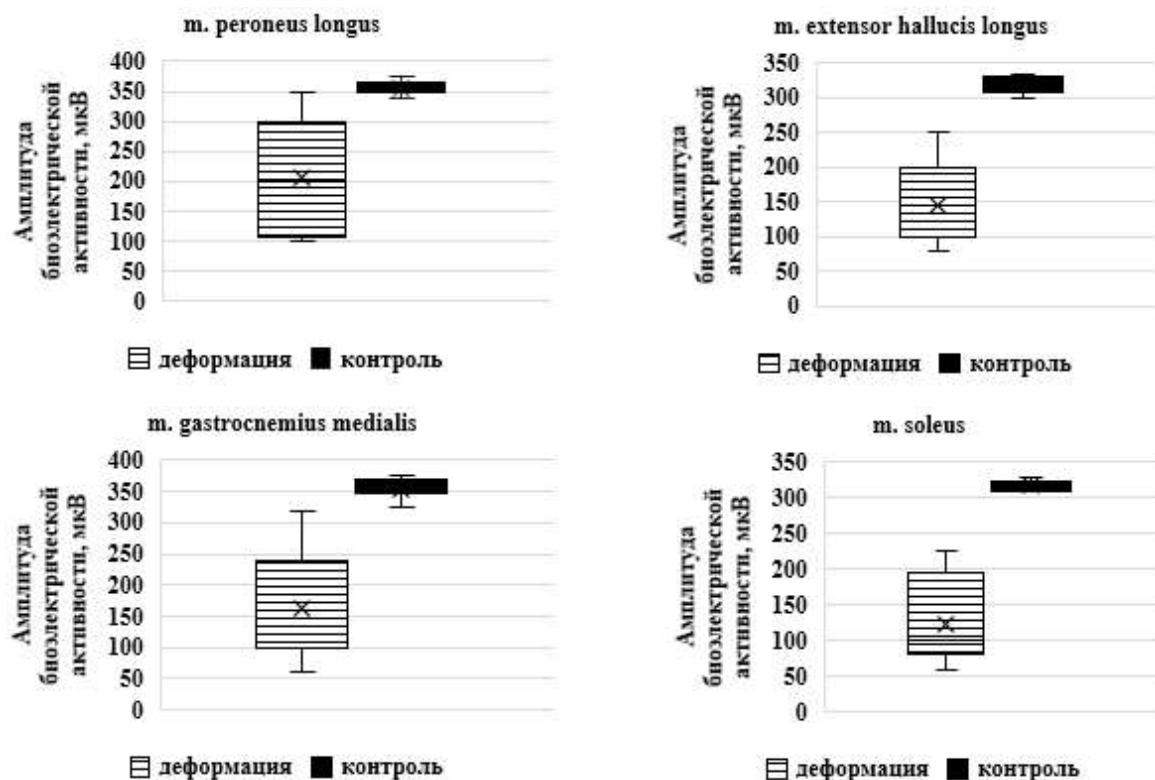


Рисунок 1 – Результаты исследования функционального состояния мышц нижних конечностей по данным суммарной ЭМГ у пациентов с плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия

Таблица 1 – Характеристика изменения параметров сенсорной проводимости на участке пояснично-крестцовых сегментов спинного мозга у пациентов с плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия

Показатели соматосенсорных вызванных потенциалов	Деформация	Контроль	p
Межпиковый интервал N ₂₂ -P ₃₇ , мс	22,0 (20,3-23,0)	16,8 (16,0-17,5)	≤0,01
Амплитуда N ₂₂ , мкВ	1,6 (1,0-2,6)	4,2 (3,8-4,6)	≤0,01
Амплитуда P ₃₇ , мкВ	4,0 (2,5-5,0)	4,5 (3,9-5,6)	≥0,05

Примечание: p – достоверность различий между группами.

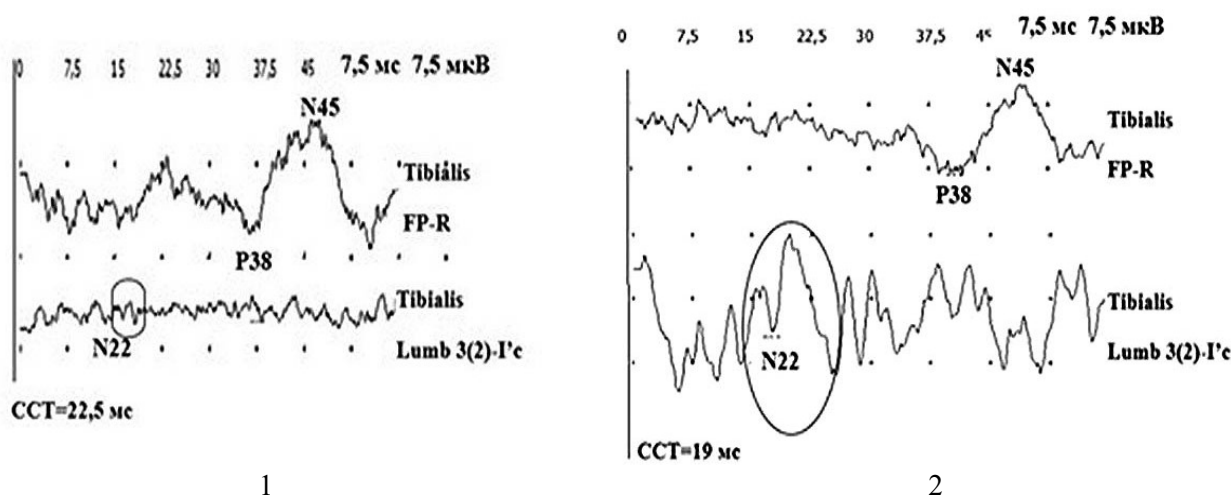


Рисунок 2 – Характеристика сенсорной проводимости пояснично-крестцовых сегментов спинного мозга по данным метода соматосенсорных вызванных потенциалов у пациента 12 лет (1) с двусторонним плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия, и здорового добровольца 11 лет (2) без ортопедической патологии: CCT-время центрального сенсорного проведения; N₂₂ – спинальный ССВП-пик; P₃₈-N₄₅ – корковый комплекс

Таблица 2 – Характеристика изменения параметров моторной проводимости пояснично-крестцовых сегментов спинного мозга у пациентов с плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия

Параметры вызванного МО	Деформация	Контроль	p
Амплитуда МО _{корт.} , мВ	1,03 (0,9-1,05)	1,5 (1,0-2,0)	≥0,05
Амплитуда МО _{сегм.} , мВ	1,8 (1,1-2,6)	4,0 (3,2-4,8)	≤0,01
Латентность МО _{корт.} , мс	36,5 (36,0-38,1)	34,6 (32,6-36,8)	≥0,05
Латентность МО _{сегм.} , мс	21,5 (19,5-22,5)	17,0 (15,0-18,5)	≤0,01

Примечание: МО_{корт.} – кортикальный моторный ответ; МО_{сегм.} – сегментарный моторный ответ; p – достоверность различий между группами.

рушением структуры нисходящего эфферентного потока импульсации. С целью количественной оценки функциональных изменений двигательных трактов спинного мозга применяли метод ТМС с синхронной регистрацией МО. Как показано в таблице 2, у всех пациентов с плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия, относительно контрольной группы от-

мечалось статистически значимое ($p \leq 0,01$) уменьшение амплитуды сегментарных МО в сочетании с удлинением ($p \leq 0,01$) его латентного периода.

Наряду с изменениями параметров сегментарных МО, отмечалось удлинение времени центрального моторного проведения импульса на участке пояснично-крестцовых сегментов спинного мозга в среднем до 18,5 мс ($p \leq 0,05$).

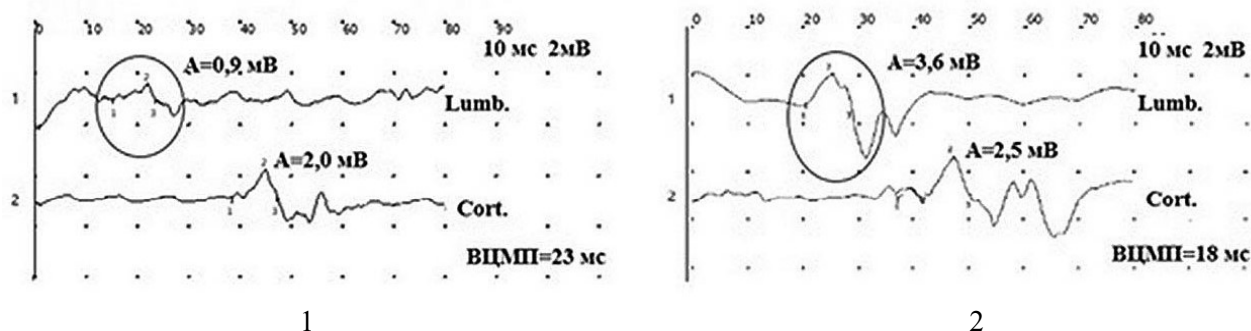


Рисунок 3 – Характеристика эфферентной проводимости пояснично-крестцовых сегментов спинного мозга по данным ТМС у пациента 12 лет (1) с двусторонним плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия, и здорового добровольца 12 лет (2) без ортопедической патологии:
ВЦМП – время центрального эфферентного проведения; А – амплитуда моторного ответа;
Lumb. – сегментарный моторный ответ; Cort. – кортикальный моторный ответ

На рисунке 3 представлена графическая картина регистрации МО мышц стоп (L5) у подростка 12 лет с плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия, на которой видно, что амплитуда сегментарных МО и индекс ВЦМП данного пациента статистически значимо изменены относительно физиологической нормы, что свидетельствовало о выраженном снижении моторной функции кортико-люмбальных трактов спинного мозга.

Снижение двигательной активности мышц нижних конечностей в сочетании с признаками сенсомоторной недостаточности нервных трактов спинного мозга у пациентов с плоскостопием сопровождалось изменениями регионарного кровотока в области стопы. Изменение величин диаметров и кровяного потока артерий берцового сегмента и стоп было двунаправленным: функциональный спазм а. tibialis anterior, а. dorsalis pedis сопровождался гиперфузией по а. tibialis posterior. Допплерографические параметры магистральных артерий бедренно-подколенного сегмента находились в диапазоне возрастной нормы.

Анализ доплерографических параметров магистральных вен нижних конечностей свидетельствовал о замедлении венозного оттока по венам берцового сегмента и его усилении по v. saphena magna. Значения диаметров и кровяного потока вен бедренно-подколенного сегмента находились в пределах величин физиологической нормы.

Изменение нервно-мышечной и сосудистой систем нижних конечностей у пациентов с плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия, приводило к изменению опороспособности стопы. Полученные резуль-

таты подометрического исследования свидетельствовали об уменьшении пикового давления в области пятки ($p \leq 0,05$) в сочетании с его повышением в области подсводного пространства ($p \leq 0,01$) и плюснефаланговых суставов ($p \leq 0,05$).

После хирургической коррекции компонентов деформации у пациентов I группы, где лечение проводилось методом частичного рассечения латеральной порции апоневроза икроножной мышцы в сочетании с артроризом подтаранного сустава, как показано на рисунке 4, начиная с 1,5 месяцев послеоперационного периода, наблюдалось постепенное восстановление функций мышц нижних конечностей с тенденцией к их полной нормализации к 6-9 месяцам. Во II группе пациентов с плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия, где хирургическое лечение проводилось методом полного рассечения апоневроза икроножной мышцы в сочетании с артроризом подтаранного сустава, в отличие от I-ой клинической группы, в ранние сроки после операции (1,5 месяца) отмечалось уменьшение (относительно исходных значений) двигательной активности мышц с тенденцией к последующему восстановлению до уровня нормативных параметров не ранее, чем через 9-12 месяцев.

Увеличение двигательной активности всех групп мышц нижних конечностей в обеих группах пациентов сопровождалось нормализацией величин скоростей эфферентного проведения импульса по малоберцовому нерву на участке стопы с тенденцией к нормализации в I-ой группе пациентов к 3 месяцам послеоперационного периода, а во II-ой – к 6 месяцам.

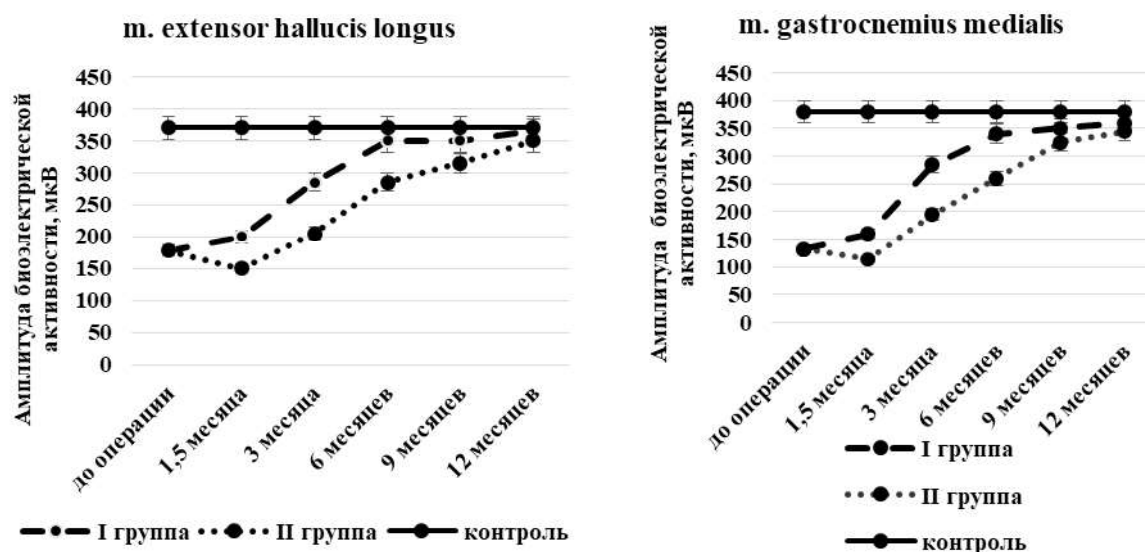


Рисунок 4 – Восстановление двигательных функций мышц голени и стоп по данным суммарной электромиографии у пациентов с плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия, в зависимости от метода хирургического лечения компонентов деформации

По мере восстановления функционального состояния нервно-мышечного аппарата нижних конечностей в обеих клинических группах наблюдалась нормализация структуры афферентно-эфферентного потока информации в вышележащие отделы нервной системы. Более быстрое восстановление изучаемых параметров сенсомоторной проводимости восходящих и нисходящих трактов спинного мозга наблюдалось у пациентов с плоскостопием, у которых хирургическая коррекция деформации стопы проводилась методом частичного рассечения апоневроза икроножной мышцы в сочетании с артроризом подтаранного сустава.

Как видно из рисунка 5, величины амплитуд спинальных ССВП-пиков и сегментарных моторных ответов, а также значения времени центрального сенсорного и моторного проведения импульса на участке пояснично-крестцовых сегментов спинного мозга у пациентов I группы достигали контрольных параметров уже к 6-9 месяцам восстановительного периода. В то же время изучаемые параметры сенсомоторной проводимости пояснично-крестцовых сегментов спинного мозга во II клинической группе нормализовались не ранее, чем через 12 месяцев после операции.

Восстановление нейрофизиологических параметров в обеих клинических группах сопровождалось нормализацией изучаемых доплерографических параметров магистральных сосудов нижних конечностей. После проведенной хирургической коррекции компонентов деформации в

обеих клинических группах отмечали постепенное увеличение значений диаметров а. tibialis anterior, а. dorsalis pedis. Более раннюю (1,5 месяца после оперативного вмешательства) дилатацию тыльной артерии стопы наблюдали у пациентов I группы, получавших лечение методом частичного рассечения латеральной порции апоневроза икроножной мышцы в сочетании с артроризом подтаранного сустава. Во II группе пациентов увеличение значений диаметров и кровяного потока отмечали не ранее, чем через 3 месяца после хирургической коррекции деформации стоп.

Наряду с изменениями в артериальном русле конечности наблюдали значимые межгрупповые различия в уровне венозного оттока по венам берцового сегмента: у пациентов I группы к 3-м месяцам восстановительного периода отмечалось увеличение значений диаметров и кровяного потока vv. tibiales posteriores, в то время как во II группе пациентов величины диаметров и кровяного потока вен берцового сегмента достигали нормативных значений только к 6 месяцам после хирургического вмешательства.

Наряду с нормализацией нейрофизиологических и доплерографических параметров в обеих группах пациентов отмечалось восстановление опороспособности конечности после проведенного оперативного лечения. Как видно из таблицы 3, наиболее быстрое улучшение показателей распределения нагрузки на отделы стоп наблюдалось у пациентов I группы, получавших лече-

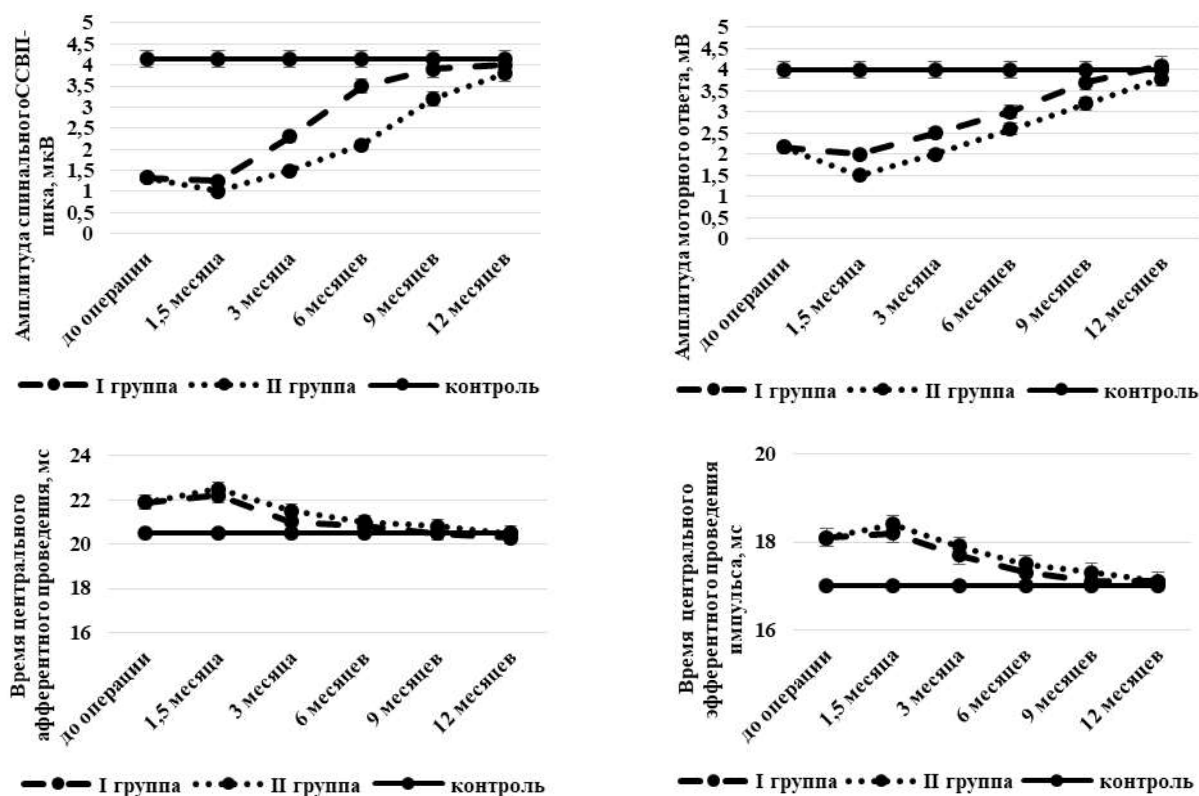


Рисунок 5 – Восстановление параметров сенсомоторной проводимости пояснично-крестцовых сегментов спинного мозга по данным транскраниальной магнитной стимуляции и соматосенсорных вызванных потенциалов у пациентов с плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия, в зависимости от метода хирургической коррекции компонентов деформации

Таблица 3 – Изменение парциальной нагрузки (% от нагрузки на всю стопу) на различные области стопы у пациентов с плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия, до и после хирургической коррекции

Область стопы	Парциальная нагрузка (%) до операции	Парциальная нагрузка (%) после операции		
			I	II
Пяточная область	21 (18-25)	3 месяца	28 (25-32)*	25 (18-24)
		6 месяцев	34 (31-36)*	31 (21-28)*
		9 месяцев	37 (34-39)**	33 (25-32)*
		12 месяцев	39 (36-43)**	35 (27-35)**
Область подсводного пространства	33 (41-51)	3 месяца	30 (29-35)*	32 (39-45)
		6 месяцев	26 (23-29)*	30 (35-43)*
		9 месяцев	25 (21-29)**	28 (31-39)*
		12 месяцев	23 (21-25)**	26 (24-28)**
Область пучков	28 (18-25)	3 месяца	26 (24-28)	27 (24-29)
		6 месяцев	25 (23-27)	26 (24-29)
		9 месяцев	25 (21-27)*	25 (23-28)
		12 месяцев	27 (24-29)*	26 (24-30)*
Область плюснефаланговых суставов	18 (14-21)	3 месяца	16 (14-18)	16 (15-19)
		6 месяцев	15 (13-16)*	15 (14-18)
		9 месяцев	13 (11-15)*	14 (12-16)*
		12 месяцев	11 (9-12)**	13 (11-15)*

Примечание: * – $p \leq 0,05$, изменения достоверны по сравнению с исходными данными; ** – $p \leq 0,01$, изменения достоверны по сравнению с исходными данными.

ние методом частичного рассечения латеральной порции апоневроза икроножной мышц в сочетании с артроризом подтаранного сустава: начиная с ранних сроков (1,5 месяца) восстановительного периода наблюдалось статистически значимое ($p \leq 0,05$) увеличение подошвенного давления на пяточную область в сочетании с его уменьшением ($p \leq 0,05$) в области подсводного пространства и передней области стопы.

Обсуждение

Плоскостопие, сопровождающееся укорочением ахиллова сухожилия, у подростков характеризуется множеством функциональных отклонений, обнаруженных в области голеней и стоп. Снижение двигательной активности мышц сопровождалось уменьшением сенсомоторной функции кортико-люмбальных трактов спинного мозга и моторной проводимости дистального участка периферического малоберцового нерва, что сказывалось на опороспособности конечности. Недостаточность двигательной активности икроножных мышц, обеспечивающих «выталкивание» крови из дистальных отделов задних большеберцовых и малоберцовых вен, приводила к дисфункции мышечно-венозных помп голеней и стоп и выражалась в замедлении венозного оттока по венам берцового сегмента.

После хирургической коррекции компонентов деформации у всех пациентов отмечалось постепенное восстановление нейрофизиологических, доплерографических и биомеханических параметров. Более быстрая нормализация изучаемых характеристик нервно-мышечной и сосудистой систем отмечалась в I группе пациентов с плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия, что объяснялось менее травматичным объемом хирургического вмешательства на стопе, а также уменьшением продолжительности гиподинамии конечности вследствие гипсовой иммобилизации.

Заключение

Как показал сравнительный анализ результатов исследований, проведенных в двух группах пациентов с плоскостопием, сопровождающимся укорочением ахиллова сухожилия, метод малоинвазивного хирургического лечения компонентов деформации, заключающийся в частичном пересечении апоневроза икроножной мышцы, создает оптимальные условия для более быстрого и полного восстановления функции центральных и периферических

звеньев нервно-мышечного аппарата, а, следовательно, для улучшения опороспособности стопы и формирования правильного стереотипа движения.

Источники финансирования. Подпрограмма «Хирургические методы медицинской профилактики, диагностики и лечения заболеваний» государственной научно-технической программы «Научно-техническое обеспечение качества и доступности медицинских услуг».

The sources of funding. The subprogram “Surgical methods of medical prevention, diagnosis and treatment of diseases” of the state scientific and technical program “Scientific and technical provision of quality and availability of medical services”.

Литература

1. Effect of intrinsic foot muscles training on foot function and dynamic postural balance: a systematic review and meta-analysis / Z. Wei, Z. Zeng, M. Liu, L. Wang // PloS one. 2022 Apr. Vol. 17, № 4. Art. e0266525. DOI: 10.1371/journal.pone.0266525
2. Современные подходы к лечению плосковальгусной деформации стоп у детей и подростков / О. В. Кожевников, И. С. Косов, А. В. Иванов, А. В. Болотов // Кубанский научный медицинский вестник. 2010. № 6. С. 51–55.
3. Изучение особенностей нейромышечных нарушений у больных с плосковальгусной деформацией стоп / И. С. Косов, О. В. Кожевников, С. А. Михайлова, А. В. Болотов // Кубанский научный медицинский вестник. 2012. № 1. С. 95–97.
4. Исследование упругих свойств стопы человека / А. И. Перепелкин, С. И. Калужский, В. Б. Мандриков [и др.] // Российский журнал биомеханики. 2014. Т. 18, № 3. С. 381–388.
5. К вопросу о формировании продольного свода стопы у детей / А. И. Перепелкин, В. Б. Мандриков, А. И. Краюшкин, Е. С. Атрощенко // Волгоградский научно-медицинский журнал. 2016. № 1. С. 32–36.
6. Prevalence of flat foot in preschool-aged children / M. Pfeiffer, R. Kotz, T. Ledl [et al.] // Pediatrics. 2006 Aug. Vol. 118, № 2. P. 634–639. DOI: 10.1542/peds.2005-2126
7. Flatfoot in school-age children: prevalence and associated factors / E. Sadeghi-Demneh, F. Jafarian, J. M. A. Melvin [et al.] // Foot and ankle specialist. 2015 Jun. Vol. 8, № 3. P. 186–193. DOI: 10.1177/1938640015578520
8. Maheshwari, R. S. Which foot is at risk? Understanding the evolution of the pediatric flatfoot / R. S. Maheshwari, A. N. Johan // Journal of foot and ankle surgery (Asia Pacific). 2023. Vol. 10, № 2. P. 48–55. DOI: 10.5005/jp-journals-10040-1292
9. Flatfoot over the centuries: the background of current conservative and operative treatments / C. Biz, M. Cerchiaro, F. Mori [et al.] // International orthopaedics. 2023 Sep. Vol. 47, № 9. P. 2357–2368.
10. Shulga, O. Conservative treatment of the longitudinal flatfeet in children / O. Shulga // Journal of education, health and sport. 2021. Vol. 11, № 7. P. 298–309. DOI: 10.12775/JEHS.2021.11.07.028
11. Сравнительная оценка результатов комплексного и консервативного лечения плосковальгусной деформации стоп у детей / О. В. Кожевников, И. С. Косов, А. В. Иванов [и др.] // Вестник травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. 2015. Т. 22, № 2. С. 55–59. DOI: 10.17816/vto201522255-59

12. Буравцов, П. П. Основные методы лечения продольного плоскостопия в зарубежных публикациях (обзор литературы) / П. П. Буравцов, Д. А. Шабалин, А. С. Неретин // Геней ортопедии. 2007. № 2. С. 117–122.
13. Sterian, A. G. Quality of life after flatfoot surgery in the pediatric population / A. G. Sterian, A. Ulici // Journal of medicine and life. 2020 Jul-Sep. Vol. 13, № 3. P. 356–361. DOI: 10.25122/jml-2020-0144
14. The operative correction of symptomatic flat foot deformities in children / D. E. Westberry, J. R. Davids, J. P. Anderson [et al.] // The bone and joint journal. 2013. Vol. 95-B, № 5. P. 706–713.

- DOI: 10.1302/0301-620X.95B5.30594
15. Quality of life in young adults after flatfoot surgery: a case-control study / N. Martinelli, A. Bianchi, L. Prandoni [et al.] // Journal of clinical medicine. 2021 Jan. Vol. 10, № 3. P. 451. DOI: 10.3390/jcm10030451
16. Long-term clinical and radiological outcomes following surgical treatment for symptomatic pediatric flexible flat feet: a systematic review / M. A. Smolle, M. Svehlik, K. Regvar [et al.] // Acta orthopaedica. 2022 Mar. Vol. 93. P. 367–374. DOI: 10.2340/17453674.2022.2254

Поступила 07.02.2025 г.

Принята в печать 13.06.2025 г.

References

1. Wei Z, Zeng Z, Liu M, Wang L. Effect of intrinsic foot muscles training on foot function and dynamic postural balance: a systematic review and meta-analysis. PloS One. 2022 Apr;17(4):e0266525. doi: 10.1371/journal.pone.0266525
2. Kozhevnikov OV, Kosov IS, Ivanov AV, Bolotov AV. Modern approaches to the treatment of flat foot deformity in children and adolescents. Kubanskii Nauchnyi Meditsinskii Vestnik. 2010;(6):51-55. (In Russ.).
3. Kosov IS, Kozhevnikov OV, Mikhaylova SA, Bolotov AV. Study of the peculiarities of neuromuscular disorders in patients with flatfoot deformity. Kubanskii Nauchnyi Meditsinskii Vestnik. 2012;(1):95-97. (In Russ.).
4. Perepelkin AI, Kaluzhskiy SI, Mandrikov VB, Krayushkin AI, Atroshchenko ES. Issledovanie uprugikh svoystv stopy cheloveka. Rossiiskii Zhurnal Biomekhaniki. 2014;18(3):381-388. (In Russ.).
5. Perepelkin AI, Mandrikov VB, Krayushkin AI, Atroshchenko ES. On the formation of the longitudinal arch of the foot in children. Volgogradskii Nauchno-meditsinskii Zhurnal. 2016;(1):32-36. (In Russ.).
6. Pfeiffer M, Kotz R, Ledl T, G. Hauser, M. Sluga. Prevalence of flat foot in preschool-aged children. Pediatrics. 2006 Aug;118(2):634-9. doi: 10.1542/peds.2005-2126
7. Sadeghi-Demneh E, Jafarian F, Melvin JMA. Flatfoot in school-age children: prevalence and associated factors. Foot and Ankle Specialist. Jun;8(3):186-93. doi: 10.1177/1938640015578520
8. Maheshwari RS, Johan AN. Which foot is at risk? Understanding the evolution of the pediatric flatfoot. Journal of Foot and Ankle Surgery (Asia Pacific). 2023;10(2):48-55. doi: 10.5005/jp-journals-10040-1292
9. Biz C, Cerchiaro M, Mori F, A. Rossin, M. Ponticciello, A.

- Crimi, et al. Flatfoot over the centuries: the background of current conservative and operative treatments. International Orthopaedics. 2023 Sep;47(9):2357-2368. doi: 10.1007/s00264-023-05837-3
10. Shulga O. Conservative treatment of the longitudinal flatfeet in children. Journal of Education Health and Sport. 2021;11(7):298–309. doi: 10.12775/JEHS.2021.11.07.028
11. Kozhevnikov OV, Kosov IS, Ivanov AV, Gribova IV, Bolotov AV. Comparative evaluation of the results of complex and conservative treatment of flat-ovalgus foot deformity in children. Vestnik Travmatologii i Ortopedii im NN Priorova. 2015;22(2):55-59. (In Russ.). doi: 10.17816/vto201522255-59
12. Buravtsov PP, Shabalin DA, Neretin AS. Main methods of treatment of longitudinal flatfoot in foreign publications (literature review). Genii Ortopedii. 2007;(2):117-122. (In Russ.).
13. Sterian AG, Ulici A. Quality of life after flatfoot surgery in the pediatric population. Journal of Medicine and Life. 2020 Jul-Sep;13(3):356-361. doi: 10.25122/jml-2020-0144
14. Westberry DE, Davids JR, Anderson JP, Pugh LI, Davis RB, Hardin JW. The operative correction of symptomatic flat foot deformities in children. The Bone and Joint Journal. 2013 May;95-B(5):706-713. doi: 10.1302/0301-620X.95B5.30594
15. Martinelli N, Bianchi A, Prandoni L, E. Maiorano, V. Sansone. Quality of life in young adults after flatfoot surgery: a case-control study. Journal of Clinical Medicine. 2021 Jan;10(3):451. doi: 10.3390/jcm10030451
16. Smolle MA, Svehlik M, Regvar K, A. Leithne, T. Kraus. Long-term clinical and radiological outcomes following surgical treatment for symptomatic pediatric flexible flat feet: a systematic review. Acta Orthopaedica. 2022 Mar;93:367-374. doi: 10.2340/17453674.2022.2254

Submitted 07.02.2025

Accepted 13.06.2025

Сведения об авторах:

Васько Ольга Николаевна – научный сотрудник лаборатории клинической электрофизиологии, ГУ «Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии», e-mail: malina117@yandex.ru;
И.А. Ильясевич – д.б.н., доцент, зав. лабораторией клинической электрофизиологии, ГУ «Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии», <http://orcid.org/0000-0002-3580-9163>;
О.А. Соколовский – д.м.н., профессор, зав. лабораторией травматологии и ортопедии детского и подросткового возраста, ГУ «Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии», <http://orcid.org/0009-0001-3830-4355>.

Information about authors:

Olga N. Vasko – researcher of the clinical electrophysiology laboratory, Republican Scientific and Practical Centre of Traumatology and Orthopedics; e-mail: malina117@yandex.ru;
I.A. Ilyasevich – Doctor of Biological Sciences, associate professor, Head of the Clinical Electrophysiology Laboratory, Republican Scientific and Practical Centre of Traumatology and Orthopedics, <http://orcid.org/0000-0002-3580-9163>;
O.A. Sokolovsky – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the laboratory of traumatology and orthopedics of children and adolescents, Republican Scientific and Practical Centre of Traumatology and Orthopedics, <http://orcid.org/0009-0001-3830-4355>.