

К ПАТОГЕНЕЗУ РЕЦИДИВИРУЮЩЕЙ ВРОЖДЕННОЙ КОСОЛАПОСТИ

И.С. Косов, О.В. Кожевников, С.А. Михайлова, С.Э. Кралина, Л.К. Каджая

ФГУ «Центральный научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова»
Минздравсоцразвития России, Москва

В лаборатории клинической физиологии и биомеханики и клинике детской ортопедии ЦИТО проведена комплексное изучение двигательных навыков у детей с врожденной косолапостью. Объектом электрофизиологических и биомеханических исследований были 34 пациента в возрасте от 3 до 16 лет с врожденной односторонней косолапостью (19 мальчиков и 15 девочек). Показатели «здоровой» конечности использовались для сравнения. При исследовании в режиме «открытого» биокинематического контура на пораженной стороне выявлено снижение произвольной биоэлектрической активности передней большеберцовой мышцы на 34–60%, икроножной мышцы — на 7–19%. Спектральный анализ ЭМГ и компьютерная механомиография показали снижение активности тонических волокон в перонеальных мышцах голени с повышением ее в мышцах задней группы. При стабилометрии и исследовании параметров ходьбы на пораженной стороне выявлен синергический тип взаимодействия мышц передней и задней групп при сохранении антагонистического типа на «здоровой» стороне. Методом стимуляционной электромиографии определен надсегментарный характер поражения. Полученные данные подтверждают влияние патологического двигательного навыка на развитие рецидивов деформации при оперативном лечении детей с врожденной косолапостью.

Ключевые слова: идиопатическая косолапость, рецидив, дети, ЭМГ, анализ ходьбы, двигательный навык, мышечный тонус.

On Pathogenesis of Recurrent Club Foot

I.S. Kosov, O.V. Kozhevnikov, S.A. Mikhailova, S.E. Kralina, L.K. Kadzhaya

Complex study of motor skills in children with congenital club foot was performed at CITO laboratory of clinical physiology and biomechanics, and clinic of pediatric orthopaedics. Subjects for electrophysiological and biomechanical examination were 34 patients with congenital unilateral club foot (19 boys and 15 girls) aged from 3 to 16 years. Intact extremity indices were used for comparison. Study in "open" biokinematic contour mode on the affected side showed decrease in voluntary bioelectric activity of anterior tibial muscle by 34–60% and gastrocnemius muscle by 7–19%. Spectrum analysis of EMG and computed mechanography showed the decrease of tonic fibers activity in peroneal muscles of the lower leg with its increase in posterior group of muscles. Stabilometry and study of gait parameters on the affected side showed synergistic type of anterior and posterior muscles interaction with preservation of antagonistic type in the normal extremity. Suprasegmentary pattern of affection (lesion) was detected by method of stimulation electromyography. The data obtained confirm the influence of pathologic motor skill on the development of deformity recurrences at surgical treatment of children with congenital club foot.

Key words: idiopathic club foot, relapse, children, EMG, analysis of gait, motor skill, muscular tone.

В качестве этиологических факторов врожденной косолапости рассматриваются наследственный, экологический, нервно-мышечный и др. В пользу последнего свидетельствует гипотрофия мышц голени с уменьшением ее размеров, присутствующая во всех случаях врожденной косолапости, что достаточно давно отмечается большинством авторов [9, 24, 25, 27, 32, 34–37]. Вопрос о первичности или вторичности этого признака по отношению к костно-суставной деформации до настоящего времени остается предметом дискуссий. В литературе имеются сведения о выявлении гипотрофии мышц голени в эмбриональном пе-

риоде развития [20, 24, 37], а также о наблюдавшемся положительном изменении нервно-мышечного статуса без предшествующей хирургической коррекции деформации [9, 35]. Это позволяет рассматривать нервно-мышечные дефекты как причину деформации, тем более что, по данным ряда авторов [16, 21], незначительные изменения иннервации вызывают развитие фиброза, приводящего к анатомическому укорочению задневнутренних мышц голени. Большинство исследователей также указывают на прямую связь развития рецидивов деформации после ее оперативной коррекции с наличием нервно-мышечных нарушений.

Исходя из предположения, что в качестве патогенного фактора при формировании костно-суставных деформаций выступают дефекты биоуправления мышечной активностью [3], мы провели комплексное изучение двигательных навыков у детей с врожденной косолапостью.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом электрофизиологических и биомеханических исследований явились 34 пациента в возрасте от 3 до 16 лет (19 мальчиков и 15 девочек) с врожденной односторонней косолапостью (табл. 1). До обращения в клинику 26 пациентов получали различные ортопедическое лечение в других лечебных учреждениях, в том числе оперативное. У 11 ранее оперированных больных наблюдался рецидив деформации.

Проводили регистрацию произвольной биоэлектрической активности (БЭА) передней большеберцовой и икроножной мышц при выполнении двигательных заданий в условиях «открытого» (без осевой нагрузки) и «закрытого» биокинематического контура. Использовали методику накожной глобальной электромиографии. Записи биотоков производили с помощью 16-канального компьютеризированного аппаратно-программного комплекса «PocketEMG» с программным обеспечением «MyoLab» (BTS, Италия), а также комплекса «ConAn» (Россия). При анализе данных определили интегральные характеристики амплитуды сигнала и его спектральный состав. Характеристики тонауса покоя и напряжения (произвольная механическая активность), а также параметры вызванных механических отставов мышц голени изучали с помощью компьютерной механомиографии [4]. Тонус напряжения передних большеберцовых мышц регистрировали при активном разгибании стопы с максимальным мышечным напряжением, икроножных мышц — при сгибании стопы. Стратегию активных стабилизаторов стопы (мышцы голени) при реализации двигательных навыков исследовали с использованием аппаратно-программного комплекса «ELITE-2002» (BTS, Италия). Проводили регистрацию ЭМГ при осуществлении автоматизированных локомоций — стояния и ходьбы. Стимуляционную электронейромиографию выполняли по стандартным протоколам на миографе «KeyPoint IV» (Дания).

Показатели «здоровой» конечности использовались для сравнения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Изучение произвольной биоэлектрической активности мышц голени в условиях «открытого» биокинематического контура

В режиме «открытого» биокинематического контура регистрировали произвольную активность мышц при сгибании и разгибании стоп (рис. 1, а, б). Во всех наблюдениях амплитуда БЭА передней большеберцовой мышцы поврежденной стороны

Табл. 1. Распределение больных по возрасту и полу

Возраст, лет	Пол		Всего больных
	М	Ж	
3-5	11	9	20
6-12	6	5	11
13-16	2	1	3
Итого	19	15	34

была снижена в пределах 34-60% от амплитуды БЭА «здоровой» конечности. Амплитуда активности икроножных мышц различалась в меньшей степени: на пораженной стороне отмечалось снижение ее на 7-19%.

Для уточнения функциональных особенностей мышц проводили цифровой спектральный анализ записей, основанный на технологии быстрого пре-

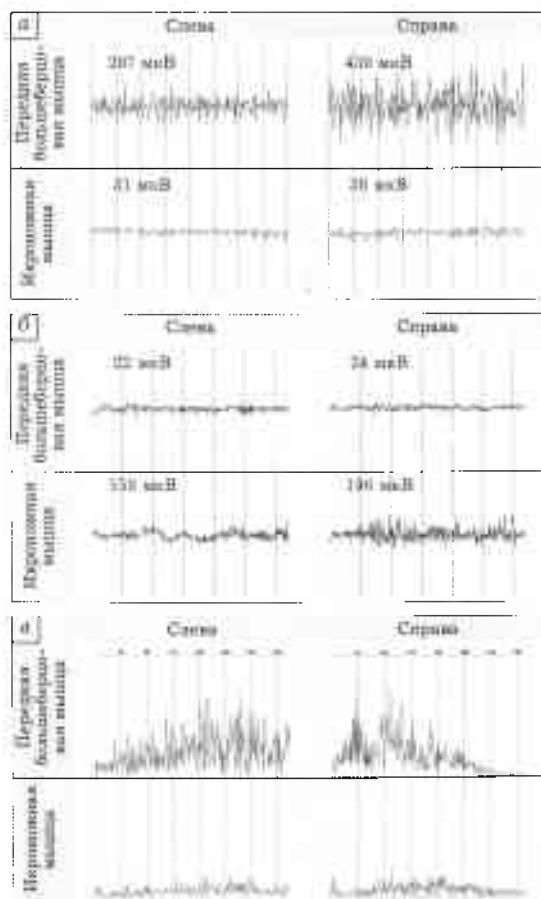


Рис. 1. Больная А 9 лет. Левосторонняя врожденная косолапость.

а - ЭМГ мышц обеих голеней при разгибании, б - при сгибании; в - спектрограммы биоэлектрической активности мышц обеих голеней при разгибании стоп.

образования Фурье. В соответствии с функциональным предназначением мышцы ее структура представлена различным в процентном отношении количеством тонических («медленных») и фазических («быстрых») волокон, которые обычно «перемешаны» внутри одной мышцы. Однако ряд авторов обнаруживали тенденцию тонических волокон группироваться в обособленные глубоко лежащие головки [14, 15, 29]. Спектральный анализ позволяет разложить суммарный гармонический сигнал ЭМГ по интенсивности частотных составляющих и определить функциональный тип исследуемых мышц. В представленном примере (рис. 1, в) спектральный анализ выявляет очевидные различия характеристик частотного диапазона осцилляций передних большеберцовых мышц. Так, если на «здоровой» стороне имеется максимум частот в диапазоне 20–120 Гц, то на стороне повреждения диапазон максимума смещается в более высокую часть спектра (выше 90–160 Гц). Примечательно наличие двух пиков на спектрограмме активности

«здоровой» передней большеберцовой мышцы 20–60 Гц и 70–110 Гц, отражающих спектральные диапазоны «медленных» и «быстрых» волокон. Выявленные изменения указывают на снижение в пораженных мышцах перонсальной группы активности тонических волокон при произвольном напряжении.

Изучение точечковой активности мышц голени

Значения тонуса покоя носили индивидуальный характер для каждого пациента и колебались от 8,8 до 71,2 кПа. Однако прослеживалась четкая закономерность его распределения у пациентов с односторонним поражением, а именно: максимальное значение регистрировалось на передней большеберцовой мышце непораженной стороны. Для расчета усредненных показателей это значение принимали за 100%, значения тонуса остальных мышц выражали в процентах от данного показателя. Из табл. 2 видно, что при врожденной косолапости имеет место значительное снижение тонической функции передней большеберцовой мышцы.

Стимуляционная механомиография выявляла умеренное повышение амплитуды механического ответа мышц голени пораженной стороны, но при выраженных качественных изменениях формы кривой ответа. По соотношению длительности фаз сокращения и расслабления механические ответы передней большеберцовой мышцы пораженной стороны (в отличие от «здоровой») были более характерны для «быстрых» фазических мышц. Икроножная мышца пораженной стороны, в свою очередь, проявляла свойства значительно более «медленных» тонических мышц. На рис. 2 представлены наиболее характерные механограммы, а в табл. 3 — их основные показатели.

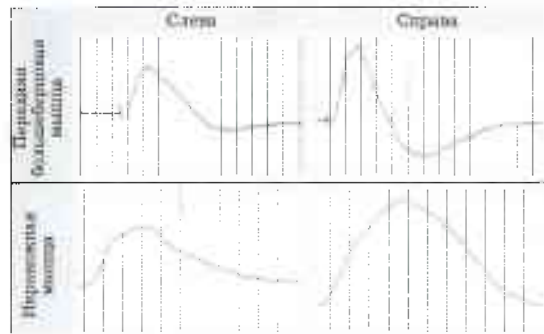


Рис. 2. Больной Г. 11 лет. Правосторонняя врожденная косолапость. Вызванные механические ответы мышц обеих голеней.

Табл. 2. Показатели тонуса мышц голени (в % от значения тонуса покоя передней большеберцовой мышцы на «здоровой» стороне)

Область регистрации	Тонус покоя		Тонус напряжения (прирост в %)	
	«здоровая» сторона	пораженная сторона	«здоровая» сторона	пораженная сторона
Передняя большеберцовая мышца	100*	72,2±8,6*	146,6±11,5* (+46,6)	82,9±13,2* (+14,9)
Икроножная мышца	67,9±4,8	66,7±9,2	84,3±7,7 (+23,9)	75,5±8,4 (+13,5)

*Различие между показателем «здоровой» и пораженной стороны достоверно (p<0,05).

Табл. 3. Параметры вызванных механических ответов мышц голени больного Г.

Показатель	Передняя большеберцовая мышца		Икроножная мышца	
	«здоровая» сторона	пораженная сторона	«здоровая» сторона	пораженная сторона
Амплитуда, кПа	31,5	50,1	12,5	23,8
Время напряжения, с	0,1	0,07	0,076	0,105
Время расслабления, с	0,12	0,08	0,205	0,180

Изучение произвольной биоэлектрической активности мышц голени в условиях «закрытого» биомеханического контура

Поддержание равновесия при стоянии и ходьбе обеспечивается напряжением мышц-стабилизаторов. Сохранение равновесия — процесс динамический. Испытывая всевозможные влияния, дестабилизирующие баланс, нервно-мышечная система непрерывно корректирует двигательную стратегию обеспечения устойчивости тела, что инициирует активное включение мышц, причем временные характеристики их напряжения имеют тесную связь с дестабилизирующим агентом. В качестве источников информации о положении тела выступают зрительный, вестибулярный и соматосенсорный анализаторы. Основными двигательными стратегиями сохранения баланса тела при стоянии являются голенистоопная (стабилизация центра масс в сагиттальной плоскости) и разобедренная (стабилизация во фронтальной плоскости).

Регистрацию активности мышц голени проводили при положении пациента в так называемой стандартной основной стойке: ноги и туловище выпрямлены, голова держится ровно, руки свободно свисают по сторонам тела. Запись биопотенциалов велась в течение 50 с. Смещение общего центра масс при естественных колебаниях тела корригирует система биоуправления мышечной деятельностью, «руководствуясь» двигательным навыком, выработанным в процессе психомоторного развития. Корректирующая активация мышц голени («мышечный ритм») в норме выражается в возбуждении их передней и задней групп (в основном) в антагонистическом режиме с обеспечением балансирующей стабилизирующей функции.

У больных с односторонней врожденной косолапостью при исследовании активности передних большеберцовых и икроножных мышц выявлены выраженные изменения качественных и количественных характеристик ЭМГ. В отличие от «здоровой» стороны на пораженной стороне их «мышечный ритм» возбуждения носил синергический характер с инверсией амплитудных соотношений (рис. 3, табл. 4). Спектральный анализ записей показал значительное расширение спектра ЭМГ передней большеберцовой мышцы пораженной стороны с уменьшением низкочастотной составляющей, что свидетельствует о снижении количества функционирующих тонических мышечных волокон. Для ЭМГ икроножной мышцы пораженной стороны было характерно сужение спектра и смещение в низкочастотную область (рис. 4).

Активность мышц-сгибателей и разгибателей при нормальной ходьбе определяется «ритмом» автоматизированного двигательного навыка и, согласно гипотезе о разных функциях мышц при ходьбе [1], проявляется в преимущественно сило-

вой функции для разгибателей и преимущественно коррекционной для сгибателей. В процессе напряжения может преваляировать либо «статическая», либо «динамическая» антагонистическая функция.

Табл. 4. Амплитуда биоэлектрической активности мышц голени (мкВ·с⁻¹)

Область регистрации	«Здоровая» сторона	Пораженная сторона
Передняя большеберцовая мышца	141 ± 18*	398 ± 40*
Икроножная мышца	523 ± 62*	85 ± 9*

*Различия между показателями «здоровой» и пораженной стороны достоверно (p < 0,05).

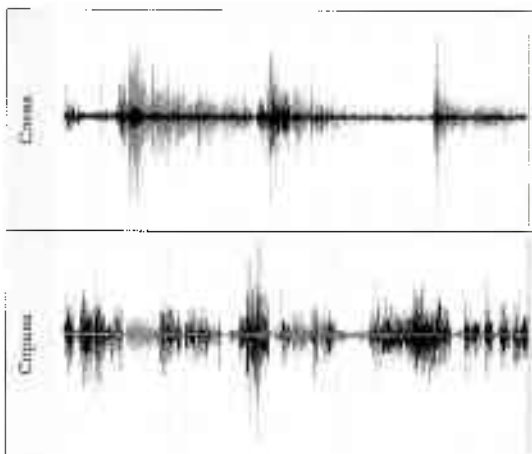


Рис. 3. Больной К. 6 лет. Левосторонняя врожденная косолапость. Профиль биоэлектрической активности мышц обеих голеней при стоянии.

Черная кривая — икроножная мышца, светлая кривая — передняя большеберцовая мышца.

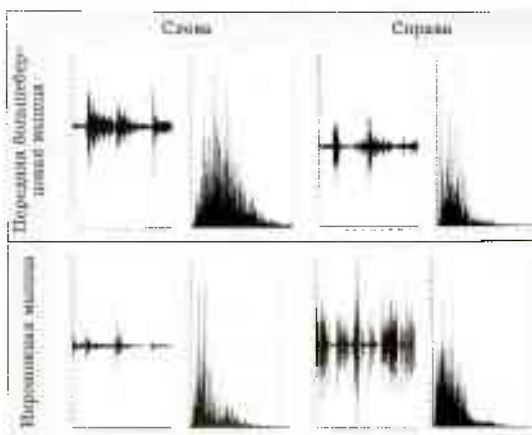


Рис. 4. Больной К. 6 лет. Левосторонняя врожденная косолапость. Спектральный анализ биоэлектрической активности мышц обеих голеней при стоянии.

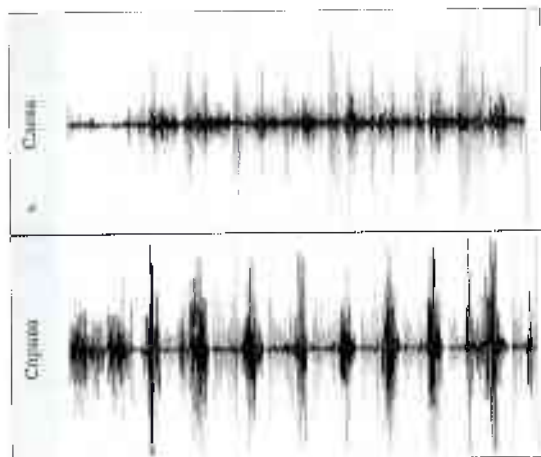


Рис. 5. Больной К. 6 лет. Левосторонняя врожденная косячность. Профиль биоэлектрической активности мышц обеих голеней при ходьбе. Черная кривая – икроножная мышца, светлая кривая – передняя большеберцовая мышца.

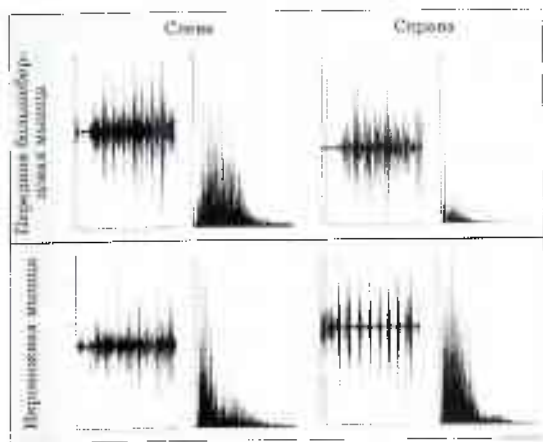


Рис. 6. Больной К. 6 лет. Левосторонняя врожденная косячность. Спектральный анализ биоэлектрической активности мышц обеих голеней при ходьбе.

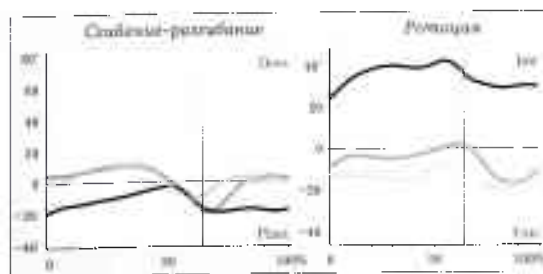


Рис. 7. Больной К. 6 лет. Левосторонняя врожденная косячность. Гониограммы голеностопного сустава в инклие шага.

Светлая линия – «здоровая» сторона, темная – пораженная сторона, серый «коридор» – пределы возрастной нормы.

При исследовании активности передних большеберцовых и икроножных мышц в ходьбе у больных с односторонней врожденной косячностью выявлено изменение качественных и количественных характеристик ЭМГ, которые были сходны с показателями активности этих мышц при стоянии. На пораженной стороне преобладавал синергический тип возбуждения с сохранением ритмичности напряжения разгибателей, но с инверсией амплитудных отношений (рис. 5). Спектральный анализ также показал значительное расширение спектра ЭМГ передней большеберцовой мышцы пораженной стороны с уменьшением низкочастотной составляющей. Для ЭМГ икроножной мышцы пораженной стороны было характерно сужение спектра и смещение в низкочастотную область (рис. 6).

Несмотря на повышенные показатели амплитуды суммарной биоэлектрической активности передней группы мышц голени на пораженной стороне, их работа при ходьбе не проявлялась в эффективном разгибании стопы (рис. 7).

Изучение вызванной биоэлектрической активности мышц голени

Для уточнения характера выявленных нарушений проводили электронейромиографические исследования. Полученные данные представлены в табл. 5. Грубых нарушений проведения по моторным волокнам большеберцового и малоберцового нервов зарегистрировано не было. Терминальная латентность проведения импульсов к проксимальным мышцам на пораженной стороне была равной или незначительно увеличенной по сравнению со «здоровой» стороной. Наибольшие изменения параметров М-ответов зарегистрированы в передней большеберцовой мышце на стороне поражения. Выявленные изменения соответствуют надсегментарному типу поражения нервно-мышечной системы.

Табл. 5. Результаты электронейромиографического исследования малоберцовых и большеберцовых нервов

Показатель	Пораженная сторона	«Здоровая» сторона
Малоберцовый нерв		
Амплитуда М-ответа, мВ	2,3±0,7	3,9±0,6
СРВ (м/с)	47,2±5,4	49,8±6,5
Терминальная латентность, мс	2,7±0,3	2,5±0,6
Большеберцовый нерв		
Амплитуда М-ответа, мВ	3,6±0,5	5,8±0,8
СРВ (м/с)	46,1±7,4	48,2±5,8
Терминальная латентность, мс	3,1±0,4	2,8±0,7

Обозначение: СРВ – скорость распространения возбуждения.

ОБСУЖДЕНИЕ

Большинство проведенных ранее исследований было направлено на поиск повреждений (дефекта) нервно-мышечной системы при идиопатической косолапости. Использовался комплексный электрофизиологический подход с анализом ЭМГ и характеристик проведения импульсов по волокнам периферических нервов (включая вызванные потенциалы), изучались гистохимические параметры мышц, анализировались параметры ходьбы [6, 7, 10, 13, 22, 26, 28, 33]. Результатом исследований, как правило, была констатация наличия «патологической иннервации», в ряде случаев — «дефицита иннервации» либо «неврогенной» и/или «миопатической альтерации». Большинство авторов склоняются к мысли о возможной локализации дефекта в сегменте L5–S1, предполагая инфекционный или токсический вариант его развития.

Настоящее комплексное исследование нервно-мышечной системы в основном было направлено на определение функциональных характеристик системы биоуправления активностью мышц-стабилизаторов стопы при врожденной косолапости. Полученные результаты свидетельствуют об изменении двигательного навыка биоуправления активностью мышц голени на всех уровнях его организации. Основные проявления локализуются в мышцах перонеальной группы и характеризуются значительным снижением эффективности фазической активности на фоне выпадения функции тонических двигательных единиц, отвечающих за активную стабилизацию стопы, что свидетельствует о перестройке архитектоники мышц. Состояние задней группы мышц голени отличается повышением тонуса покоя при снижении тонуса напряжения. При тестировании мышц в ходьбе выявляется функциональная несостоятельность передней группы, нарушение фазности сокращений и реципрокных взаимоотношений мышц голени, нарушение системы супрасегментарного управления движениями.

Процентное соотношение тонических и фазических волокон в мышцах нижних конечностей формируется под воздействием осевой нагрузки. После рождения ребенка тонические двигательные единицы в мышцах голени практически не представлены, основной период их развития — от 6 до 12 мес — связан с вертикализацией ребенка и необходимостью оказывать сопротивление гравитации [5]. В этот период происходит трансформация «быстрых» волокон в «медленные» под формирующим влиянием мотонейронов на физиологию и биохимию иннервируемых ими мышц [11, 23, 30, 31, 38]. Попытки выявить различия в иннервации тонических и фазических мышечных волокон, составляющих двигательные единицы, привели к обнаружению разных по размерам мотонейронов. При этом крупные мотонейроны отнесены к разряду фазических, мелкие — тонических. Активация последних у взрослых осуществляется в соот-

ветствии с паттернами автоматизированных двигательных навыков [8, 12, 17–19].

Нормально сформированный в процессе психомоторного развития ребенка навык активной стабилизации стопы предусматривает преимущественно тоническую функцию задней группы мышц голени, тогда как мышцы перонеальной группы являются преимущественно фазическими, но при сохранении тонической функции, что отражается в процентном соотношении «медленных» и «быстрых» волокон в их составе. Регуляция тонической функции мышц является неосознанным (исключительно рефлекторным) видом деятельности системы биоуправления двигательной активностью [1]. Строение и функция стопы в первые 15–20 лет жизни человека в процессе оптимизации статического нагружения претерпевают индивидуальное развитие. При окончательно сформированной нормальной стопе взрослого дуги ее продольного свода и статическое нагружение при стоянии и в период опоры во время ходьбы обеспечивают достаточную рессорность, минимизируют опасность функциональной перегрузки [2].

Заключение. Этиология врожденной (идиопатической) косолапости может включать в себя гетерогенную группу повреждений с миопатическими или неврогенными нарушениями, приводящими к формированию в процессе психомоторного развития адаптивного (патологического) навыка биоуправления мышцами голени (активными стабилизаторами стопы). Перераспределение баланса передней и задней групп мышц голени (прежде всего в тонической сфере) в совокупности с осевой нагрузкой оказывает влияние на рост костей стопы и способствует формированию костно-суставных деформаций. Хирургическая коррекция этих деформаций до завершения периода роста скелета без сопутствующего формирования адекватного двигательного навыка сопровождается повышенным риском рецидива, обусловленного дальнейшим индивидуальным развитием стопы на фоне адаптивного навыка биоуправления активными стабилизаторами стопы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Витензон А.С., Петрушанская К.А. От естественно-го к искусственному управлению локомоцией — М., 2003. — С. 191.
2. Клиническая биомеханика /Под ред. В.И. Филатова. — Л., 1980. — С. 82–85.
3. Кожевников О.В., Косов И.С., Грибова И.В. и др. Новая технология коррекции тяжелых форм косолапости у детей //Вестн. травматол. ортопед. — 2009. — № 1. — С. 58–64.
4. Косов И.С., Геллер И.И., Михайлова С.А., Кхир Бек М. Механомиография — новый метод клинического исследования сократимости мышц //Вестн. травматол. ортопед. — 2006. — № 3. — С. 76–79.
5. Мик-Колас А. Дж. Скелетные мышцы. — Киев, 2001. — С. 80–81.
6. Beyaert C., Haumont T., Paysant J. et al. The effect of inturning of the foot on knee kinematics and kinetics in

- children with treated idiopathic clubfoot //Clin. Biomech. 2003. — Vol. 18. — P. 670-676.
7. Bill P.L.A., Versfeld G.A. Congenital club foot: an electromyographic study //J. Pediatr. Orthop. — 1982. — Vol. 2, N 2. — P. 139-142.
 8. Burke R.E. Group Ia synaptic input to fast and slow twitch motor units of cat triceps surae //J. Physiol. — 1968. — Vol. 196. — P. 605-630.
 9. DePuy J., Drennan I.C. Correction of idiopathic clubfoot. a comparison of results of early versus delayed posteromedial release //J. Pediatr. Orthop. — 1989. — Vol. 9, N 1. — P. 44-48.
 10. Dotbs M.B., Nunley R., Schoenecker P.L. Long-term follow-up of patients with clubfeet treated with extensive soft-tissue release //J. Bone Jt Surg. — 2006. — Vol. 88A. — P. 986-996.
 11. Dubowitz V. Cross-innervated mammalian skeletal muscle: histochemical physiological and biochemical observations //J. Physiol. — 1967. — Vol. 193. — P. 481-496.
 12. Eccles J.C., Eccles R.M., Lundberg A. The convergence of monosynaptic excitatory afferents onto many different species of alpha motoneurons //J. Physiol. — 1957. — Vol. 137, N 1. — P. 22-50.
 13. Feldbrin Z., Gilat A.N., Ezra E. et al. Muscle imbalance in the aetiology of idiopathic club foot an electromyographic study //J. Bone Jt Surg. 1995. — Vol. 77B. — P. 596-601.
 14. Gordon G., Holbourn A.H.S. The mechanical activity of single motor units in reflex contractions of skeletal muscle //J. Physiol. — 1949. — Vol. 110, N 1-2. — P. 26-35.
 15. Gordon G., Phillips C.G. Slow and rapid components in a flexor muscle //Quart. J. Exp. Physiol. 1953. — Vol. 38, N 1. — P. 35-45.
 16. Handelsman J.F., Badalamente M.A. Neuromuscular studies in clubfoot //J. Pediatr. Orthop — 1981. — Vol. 1, N 1. — P. 23-32.
 17. Henneman E. Relation between size of neurons and their susceptibility to discharge //Science. — 1957. — Vol. 126. — P. 1345-1347.
 18. Henneman E., Somjen G., Carpenter D.O. Excitability and inhibibility of motoneurons of different sizes //J. Neurophysiol. — 1965. — Vol. 28, N 3. — P. 599-620.
 19. Henneman E., Somjen G., Carpenter D.O. Functional significance of cell size in spinal motoneurons //J. Neurophysiol. 1965. — Vol. 28, N 3. — P. 560-580.
 20. Irani R.N., Sherman M.S. The pathological anatomy of club foot //J. Bone Jt Surg. — 1963. — Vol. 45A. — P. 45-52.
 21. Isaacs H., Handelsman J.E., Budenhorst M., Pickering A. The muscles in club foot: a histological, histochemical and electron microscopic study //J. Bone Jt Surg. — 1977. — Vol. 59B. — P. 465-472.
 22. Karol L.A., O'Brien S.E., Wilson H. et al. Gait analysis in children with severe clubfeet: early results of physiotherapy versus surgical release //J. Pediatr. Orthop. — 2005. — Vol. 25, N 2. — P. 236-240.
 23. Karpati G., Engel W.K. Transformation of the histochemical profile of skeletal muscle by «foreign» innervation //Nature. — 1967. — Vol. 215. — P. 1509-1510.
 24. Laaveg S., Ponseti J.V. Long-term results of treatment of congenital club foot //J. Bone Jt Surg. — 1980. — Vol. 62A. — P. 23-31.
 25. Levin M.N., Kuo K.N., Harris G.F., Matesi D.V. Posteromedial release for idiopathic talipes equinovarus: a long-term follow-up study //Clin. Orthop. — 1989. — N 242. — P. 265-268.
 26. Macnicol M.F., Nadeem R.D. Evaluation of the deformity in club foot by somatosensory evoked potentials //J. Bone Jt Surg. — 2000. — Vol. 82B. — P. 731-735.
 27. Magone J.B., Torch M.A., Clark R.N., Kean J.R. Comparative review of surgical treatment of the idiopathic clubfoot by three different procedures at Columbus Children's Hospital //J. Pediatr. Orthop. — 1989. — Vol. 9, N 1. — P. 49-58.
 28. Murath H., Dahl C., Yamuzer G. et al. Gait characteristics of patients with bilateral club feet following posteromedial release procedure //J. Pediatr. Orthop. — 2005. — Vol. 14B, N 2. — P. 206-211.
 29. Needham D.M. Red and white muscle //Physiol. Rev. — 1926. — Vol. 6, N 1. — P. 1-27.
 30. Romanul F.C.A., van der Meulen J.P. Reversal of the enzyme profiles of muscle fibres in fast and slow muscles by cross-innervation //Nature. — 1966. — Vol. 212. — P. 1369-1370.
 31. Romanul F.C.A., van der Meulen J.P. Slow and fast muscles after cross innervation //Arch. Neurol. — 1967. — Vol. 17, N 4. — P. 387-402.
 32. Settle G.W. The anatomy of congenital talipes equinovarus: sixteen dissected specimens //J. Bone Jt Surg. — 1963. — Vol. 45A. — P. 1341-1354.
 33. Theologis T., Harrington M.E., Thompson N., Benson M.K. Dynamic foot movement in children treated for congenital talipes equinovarus //J. Bone Jt Surg. — 2003. — Vol. 85B. — P. 572-577.
 34. Thompson G.H., Richardson A.B., Westin G.W. Surgical management of resistant congenital talipes equinovarus deformity //J. Bone Jt Surg. — 1982. — Vol. 64A. — P. 652-665.
 35. Turco V. Resistant congenital clubfoot: one-stage posteromedial release with internal fixation: a follow-up report of a fifteen-year experience //J. Bone Jt Surg. — 1979. — Vol. 61A. — P. 805-814.
 36. Weisbrod H. Congenital club foot: an anatomical study //J. Bone Jt Surg. — 1973. — Vol. 55B. — P. 796-801.
 37. Wiley A.M. Club foot: an anatomical and experimental study of muscle growth //J. Bone Jt Surg. — 1959. — Vol. 41B. — P. 821-835.
 38. Yellin H. Neural regulation of enzymes in muscle fibers of red and white muscle //Exp. Neurol. — 1967. — Vol. 19, N 1. — P. 92-103.

Сведения об авторах: Косов И.С. — доктор мед. наук, зав. лабораторией клинической физиологии и биомеханики ЦИТО; Кожесвииков О.В. — доктор мед. наук, зав. 10-м травматолого-ортопедическим детским отделением; Михайлова С.А. — старший науч. сотр. лабораторий клинической физиологии и биомеханики; Кралина С.Э. — канд. мед. наук, старший науч. сотр. 10-го травматолого-ортопедического детского отделения; Каздыя Л.К. — аспирант ЦИТО.
Для контактов: Косов Игорь Семенович. 127299, Москва, ул. Приорова, дом 10, ЦИТО. Тел.: (495) 708-80—27.
 E-mail: kozeti@mail.ru