

DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2021.4.08

УДК 531/534: [57+61]



**Российский
Журнал
Биомеханики**
www.biomech.ru

ОСОБЕННОСТИ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ И ИННЕРВАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ХОДЬБЫ У ЗДОРОВЫХ ДЕТЕЙ РАННЕГО ВОЗРАСТА

**Т.Т. Батышева¹, Е.В. Письменная², К.А. Петрушанская³,
М.В. Писарева⁴, М.В. Ковина⁴**

¹Научно-практический центр детской психоневрологии, Российская Федерация, 119602, Москва, Мичуринский проспект, 74, e-mail: info@nrcdp.ru

²Общество с ограниченной ответственностью «ЭкзоАтлет», Российская Федерация, 119121, Москва, пер. 1-й Тружеников, 15, офис 1, e-mail: info@exoatlet.ru

³Московский областной научно-исследовательский клинический институт имени М.Ф. Владимирского, Российская Федерация, 129110, Москва, ул. Щепкина, 61/2, кор. 1, e-mail: moniki@monikiweb.ru

⁴Областная детская клиническая больница, Российская Федерация, 150042, Ярославль, Тутаевское шоссе, 27, e-mail: adm@odkb76.ru

Аннотация. В настоящее время одной из наиболее важных проблем медицины является восстановление функции передвижения. Эта проблема становится особенно актуальной, когда речь идет о детях, которые не могут передвигаться с самого рождения. Именно к таким детям применяется термин абилитация, что подразумевает не переобучение детей правильному навыку ходьбы, а первоначальное формирование этого навыка и его дальнейшее адекватное развитие. В настоящее время все большее количество специалистов, занимающихся абилитацией детей раннего возраста с различными заболеваниями опорно-двигательной и нервной систем, осознают необходимость инструментальной оценки функции передвижения. Это связано с тем, что в отличие от балльной системы оценок, инструментальная оценка функции передвижения является максимально конкретной и точной, а комплексное исследование биомеханической и иннервационной структуры ходьбы дает полное представление о двигательных нарушениях у ребенка. В данной статье авторы исследовали биомеханическую и иннервационную структуру ходьбы у четырех детей 2–2,5 лет. На основании этого исследования авторы выяснили, что для ходьбы детей 2 лет характерны следующие особенности: резкое снижение средней скорости передвижения, увеличение темпа наряду с укорочением длины шага, значительная трансформация временной структуры ходьбы (увеличение длительности опорной и двуопорной фаз и уменьшение продолжительности переносной фазы), сгибательная позиция нижних конечностей, сдвиг всех экстремальных значений угловых перемещений вправо по временной оси, резкое увеличение длительности максимумов активности, отсутствие второго максимума активности у ряда мышц. Полученные данные полезны прежде всего как эталонные, так как ходьбу больных двухлетних детей необходимо сопоставлять с ходьбой здоровых детей соответствующего возраста.

Ключевые слова: абилитация, дети раннего возраста, биомеханическая и иннервационная структура ходьбы, ЭМГ-профиль мышц в течение локомоторного цикла.

© Батышева Т.Т., Письменная Е.В., Петрушанская К.А., Писарева М.В., Ковина М.В., 2021

Батышева Татьяна Тимофеевна, д.м.н., директор, Москва

Письменная Елена Валентиновна, к.т.н., с.н.с., Москва

Петрушанская Кира Анатольевна, к.б.н., с.н.с., Москва

Писарева Марина Владимировна, главный врач, Ярославль

Ковина Марина Валерьевна, заведующая отделением патологии речи и нейрореабилитации, Ярославль

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует небольшое число работ, посвященных биомеханической и иннервационной структуре ходьбы детей раннего возраста [1, 3, 5–7, 10–12]. А.С. Витензон и Л.Н. Самсонова регистрировали электрическую активность мышц голени и бедра при ходьбе детей от 1,5 до 4 лет [6].

Было установлено, что с увеличением возраста происходит повышение скорости ходьбы, уменьшение темпа и возрастание длины шага, трансформация временной структуры шага, увеличение амплитуды угловых перемещений в суставах нижних конечностей.

Но основное внимание в их работе было уделено изменению электрической активности мышц в течение локомоторного цикла. Было установлено, что с увеличением возраста происходит концентрация мышечных усилий в течение локомоторного цикла: максимумы активности уменьшаются по длительности и становятся более отчетливыми. Такая трансформация ЭМГ-профиля отмечается к четырехлетнему возрасту. Причем активность мышц-разгибателей уменьшается более резко, чем активность мышц-сгибателей и в большей степени приближается к тому распределению, которое свойственно взрослым.

Такая же тенденция к сосредоточению активности в более узкие интервалы времени была отмечена и в монографии Д.П. Букреевой и соавторов, исследовавших электрическую активность ряда мышц у детей в возрасте от 3 до 15 лет [1]. Тем не менее эти авторы не получили усредненные графики распределения электрической активности мышц в течение локомоторного цикла. Между тем именно распределение электрической активности в течение локомоторного цикла, т. е. ЭМГ-профиль мышц, имеет эталонный характер и позволяет проводить сравнительный анализ работы мышц в норме и у детей с патологией опорно-двигательного аппарата.

Поэтому цель данной работы – представить первые результаты исследований биомеханической и иннервационной структуры ходьбы здоровых детей 2 лет и сопоставить параметры их ходьбы с соответствующими параметрами здоровых взрослых и здоровых детей 7 лет.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследований биомеханической и иннервационной структуры ходьбы был применен биомеханический комплекс «Ликэр». Исследования были проведены в отделении патологии речи и нейрореабилитации Областной детской клинической больницы г. Ярославля.

Под наблюдением находились четыре ортопедически здоровых ребенка (дети сотрудников больницы) в возрасте от 2 до 2,5 лет. Все дети были тщательно осмотрены ортопедом. Были исследованы следующие параметры ходьбы: основные параметры (скорость, темп, длина двойного шага, длительность локомоторного цикла), временные параметры ходьбы (длительность опорной, переносной и двуопорной фаз, коэффициент ритмичности), кинематические параметры ходьбы (угловые перемещения в основных суставах нижних конечностей – тазобедренном и коленном), а также электрическая активность 4 симметричных мышц нижних конечностей: передней большеберцовой, внутренней икроножной, прямой бедра и двуглавой бедра.

Дети ходили по горизонтальной дорожке длиной 10 м. Во время исследований дети делали по 8–9 проходов. Все данные ходьбы детей раннего возраста были сопоставлены с данными исследований ходьбы здоровых взрослых и детей 7 лет [2–5].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Наши исследования показали, что по сравнению со здоровыми взрослыми и детьми семилетнего возраста у детей 2 лет отмечается значительное увеличение среднего темпа передвижения до 141 шаг/мин. Характерно, что здоровые двухлетние дети очень легко переходят от ходьбы к бегу в пределах одного прохода. В то же время длина двойного шага очень незначительная – 0,5 м. Поэтому скорость ходьбы детей 2–2,5 лет достаточно низкая – 0,59 м/с (табл. 1).

Таблица 1

Основные параметры ходьбы здоровых взрослых, здоровых детей 7 лет и детей в возрасте 2–2,5 лет

Параметры	Взрослые	Дети 7 лет	Дети 2–2,5 лет
Длительность цикла, с	1,21 ± 0,03	0,99 ± 0,02	0,85 ± 0,02
Длина двойного шага, м	1,42 ± 0,02	1,04 ± 0,03	0,50 ± 0,03
Скорость ходьбы, м/с	1,17 ± 0,02	1,05 ± 0,02	0,59 ± 0,04
Темп ходьбы, шаг/мин	99 ± 1	121 ± 2	141 ± 3

У здоровых детей двухлетнего возраста по сравнению со здоровыми взрослыми и детьми 7 лет отмечается незначительное увеличение длительности опорной фазы до 64,7 % и уменьшение продолжительности переносной фазы до 35,3 %.

Характерно, что у здоровых двухлетних детей увеличивается продолжительность двуопорной фазы, что указывает на ослабление статической устойчивости. Последнее, вероятно, связано с ходьбой на слегка согнутых ногах (табл. 2).

Таблица 2

Временные параметры ходьбы здоровых взрослых, здоровых детей 7 лет и детей в возрасте 2–2,5 лет

Параметры	Здоровые взрослые		Дети 7 лет		Дети 2–2,5 лет	
	Левая	Правая	Левая	Правая	Левая	Правая
Длительность опорной фазы	62,7±0,7	62,4±0,9	62,0±0,9	60,6±0,8	64,7±0,8	64,1±1,0
Длительность переносной фазы	37,3±0,6	37,6±0,4	38,0±0,5	39,4±0,7	35,3±0,6	35,9±0,8
Длительность двуопорной фазы	12,7±0,4	12,4±0,6	10,2±0,7	12,4±0,7	15,1±0,6	13,7±0,6
Коэффициент ритмичности	0,99		0,96		0,98	

Исследования показали, что у двухлетних детей отмечается изменение кинематических параметров ходьбы. На рис. 1 представлены кинематические параметры ходьбы здоровых взрослых и здоровых детей 7- и 2-летнего возраста.

Кривая угла в тазобедренном суставе (ТБС) при ходьбе в норме имеет три экстремальных значения: два из них соответствуют сгибанию в суставе, одно из них – разгибанию. Каждый цикл начинается со сгибания, которое удерживается в течение интервала опоры на пятку, далее происходит разгибание в суставе, достигающее

максимального значения в середине интервала опоры на носок, затем снова наступает сгибание в переносную фазу, которое только в конце цикла сменяется небольшим разгибанием [2–7, 10–12].

У взрослых здоровых людей кривая коленного угла (КУ) состоит из двух полуволн – с малой и большой амплитудой. Первая полуволна характеризует подгибание в коленном суставе (КС), имеющее главным образом амортизационное значение (смягчение удара ноги о поверхность опоры), вторая полуволна отражает сгибание в суставе в переносной фазе. За каждым сгибанием следует практически полное разгибание [2–7, 10–12].

У детей 7 лет отмечаются следующие изменения в кривых угловых перемещений: во-первых, все экстремальные значения угловых перемещений сдвинуты влево по временной оси; во-вторых, наблюдается изменение ряда амплитудных значений, в частности увеличение угла разгибания в КС как в опорной, так и в переносной фазе, что предполагает ходьбу на слегка согнутых ногах; в-третьих, отмечается пространственная асимметрия, т.е. различия в амплитуде углов правой и левой нижних конечностей [5].

Как видно из рис. 1, у двухлетних детей форма тазобедренного угла (ТБУ) практически не отличается от формы ТБУ взрослых. У детей 2 лет амплитуда движений составляет 34° , однако по сравнению с взрослыми у них увеличивается угол сгибания как в опорной, так и в переносной фазе – 29° , разгибание в ТБС слабо выражено (-5°), поэтому вся кривая поднимается вверх от нулевой линии, что связано с ходьбой на слегка согнутых ногах. У детей 2 лет отсутствует горизонтальная площадка в начале опорной фазы, соответствующая по длительности двуопорной фазе.

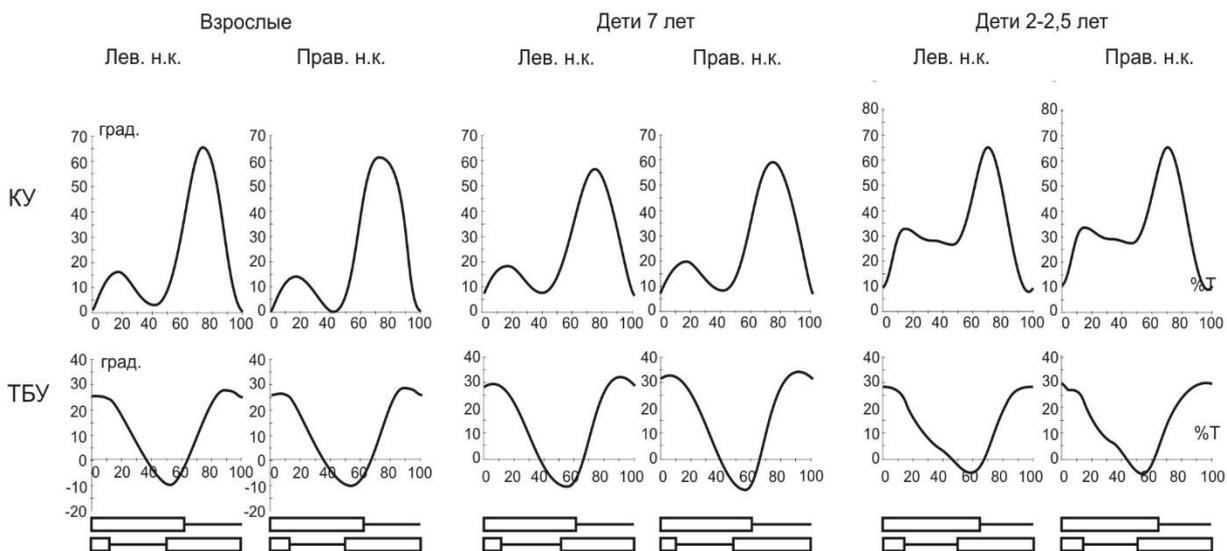


Рис. 1. Кинематические параметры ходьбы здоровых взрослых испытуемых, здоровых детей 7 лет и здоровых детей 2 лет: КУ – коленный угол; ТБУ – тазобедренный угол. Под графиками – подограммы: по оси абсцисс – длительность локомоторного цикла в %; по оси ординат – угловые перемещения в суставах нижних конечностей в градусах

В то же время в кривой КУ у детей 2 лет наблюдаются более существенные изменения. Во-первых, у детей 2 лет снижается амплитуда движений в КС до 55° . Во-вторых, подгибание (сгибание в КС в опорной фазе) очень продолжительное, оно завершается лишь к 23 % цикла. Величина подгибания у детей 2 лет значительно выше, чем у взрослых – 35° . Следующее за ним разгибание также очень продолжительное,

причем это разгибание происходит не полностью, его величина составляет 26° . Снижение амплитуды движений в КС происходит также и за счет уменьшения основного сгибания до 65° , экстремум основного сгибания приурочен к $t = 80\%$ локомоторного цикла, т.е. смещен вправо по временной оси. Таким образом, для коленного угла здоровых детей 2 лет характерно увеличение подгибания, уменьшение амплитуды движений и смещение всех экстремальных значений вправо по временной оси.

Однако наибольший интерес представляет изменение электрической активности мышц при ходьбе. На рис. 2 показан ЭМГ-профиль 4 мышц нижних конечностей у взрослых испытуемых и детей 7 и 2 лет.

Передняя большеберцовая мышца (рис. 2, а). При ходьбе взрослых здоровых испытуемых электрическая активность передней большеберцовой мышцы в течение двойного шага имеет два максимума: первый – высокий – начинается при $t = 95\%$ предыдущего цикла, дает наибольшую волну в пределах первых 10% следующего шага и заканчивается к 15% цикла. Функциональное назначение первого максимума – подъем стопы перед опорой, ее плавное прислоение к опорной поверхности, вращение голени вперед при фиксированной стопе. Второй максимум, менее выраженный, начинается при $t = 55\%$ и заканчивается при $t = 80\%$ цикла. Этот максимум способствует тыльному сгибанию в ГСС в первой половине переносной фазы [2–6].

У детей 7 лет ЭМГ-профиль передней большеберцовой мышцы сходен с ЭМГ-профилем взрослых испытуемых, но отмечаются определенные отличия. В возрасте 7 лет увеличена промежуточная межпиковая активность. Кроме того, активность асимметрична на правой и левой нижних конечностях [4, 7, 10].

При ходьбе детей 2 лет наблюдается резкое увеличение второго максимума активности передней большеберцовой мышцы. В отличие от взрослых и семилетних детей максимумы активности более продолжительные. Так, первый максимум начинается на уровне $t = 86\%$ предыдущего цикла и завершается на уровне $t = 23..24\%$ следующего цикла. Второй максимум, способствующий тыльному сгибанию в ГСС в переносной фазе, также более продолжительный – $53\% < t < 86\%$. Таким образом, по сравнению с взрослыми и детьми 7 лет для детей 2 лет характерно резкое увеличение длительности периода активности данной мышцы – до 71% цикла.

Внутренняя икроножная мышца (рис. 2, б). При ходьбе взрослых испытуемых электрическая активность внутренней икроножной мышцы имеет максимум между $t = 20\%$ и $t = 60\%$ цикла с вершиной, приуроченной к $t = 45\%$ цикла. Функция этой активности состоит в регуляции движения голени вперед (в режиме уступающей работы до 50% цикла) и в осуществлении сгибания в КС и подошвенного сгибания в ГСС в конце опорной фазы [2–6].

При ходьбе детей 7 лет ЭМГ-профиль икроножной мышцы характеризуется более ранним возникновением максимума активности, большей величиной минимальной активности, более высоким уровнем возбуждения в начале опорной и в течение переносной фазы. У взрослых испытуемых соотношение максимальной и минимальной активности икроножной мышцы составляет 8:1, у детей 7 лет – 4:1 [4, 7, 10].

При ходьбе детей 2 лет максимум активности внутренней икроножной мышцы пролонгирован на большую часть опорной фазы, что связано с ходьбой на слегка согнутых ногах (см. рис. 2, б). Как видно из рис. 1, все кинематические кривые у здоровых детей 2 лет подняты вверх над нулевой линией, определяющей стояние с выпрямленными ногами. Такое положение соответствует сгибательной позиции нижних конечностей, которая сохраняется в течение локомоторного цикла. Однако у двухлетних детей отмечается еще одна волна активности икроножной мышцы – с 61 до 86% цикла. Можно полагать, что эта волна активности предназначена для сгибания в КС.

Прямая мышца бедра (рис. 2, в). При ходьбе здоровых взрослых испытуемых электрическая активность прямой мышцы бедра имеет два максимума. Первый максимум возникает в конце предшествующего шага при $t = 85\%$ и заканчивается при $t = 20\%$ следующего цикла. Второй небольшой максимум проецируется на ось времени в пределах $55\% < t < 75\%$ цикла. Активность мышц в конце переносной фазы ($85\% < t < 100\%$) способствует разгибанию в КС. Во время переката стопы через пятку ($0\% < t < 15\%$) и несколько позднее прямая мышца бедра работает в уступающем режиме, противодействуя сгибанию в КС. Активность второго максимума способствует сгибанию в ТБС в конце опорной фазы [2-6].

При ходьбе семилетних детей в электрической активности прямой мышцы бедра также отмечаются два максимума. Первый максимум – очень продолжительный, он возникает в конце предшествующего цикла на уровне 90% и завершается только к 60% следующего цикла. Второй максимум, предназначенный для сгибания в ТБС, напротив, очень незначительный как по величине, так и по длительности. Выявляется отчетливая асимметрия максимумов [4, 7, 10].

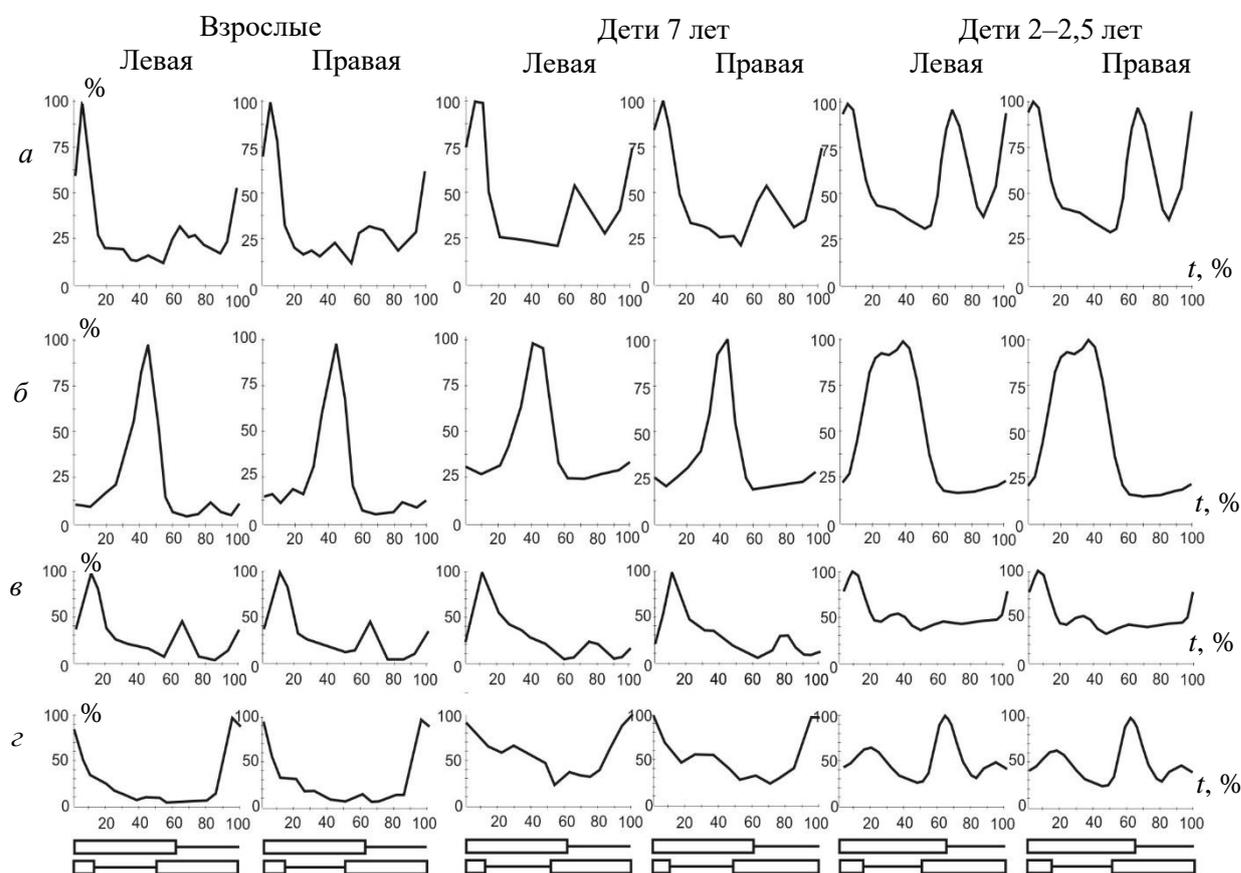


Рис. 2. Электрическая активность мышц нижних конечностей у здоровых взрослых испытуемых и здоровых детей 7 и 2 лет: *а* – передняя большеберцовая мышца; *б* – внутренняя икроножная мышца; *в* – прямая мышца бедра; *г* – двуглавая мышца бедра. Под графиками – подограммы: по оси абсцисс – длительность локомоторного цикла в %; по оси ординат – электрическая активность мышц в процентах к её максимальному значению в течение цикла

При ходьбе детей 2 лет ЭМГ-профиль прямой мышцы бедра принимает двухвершинную форму, первый максимум активности имеет границы от $t = 95\%$ предшествующего цикла до $t = 30\%$ следующего цикла, второй максимум от $t = 30\%$ до $t = 50\%$ цикла. ЭМГ-профиль этой мышцы у двухлетних детей напоминает по форме

кривую вертикальной составляющей R_z опорной реакции. Отмечается значительное увеличение уровня промежуточной межпиковой активности. Второй максимум активности прямой мышцы бедра, способствующий сгибанию в ТБС, отсутствует при ходьбе детей 2 лет.

Двуглавая мышца бедра (рис. 2, *г*). При ходьбе взрослых испытуемых электрическая активность двуглавой мышцы бедра образует максимум, который простирается от $t = 85\%$ предшествующего цикла до $t = 40\%$ следующего цикла. Пик максимума приходится на $t = 90...92\%$ предыдущего цикла. Функциональное назначение этой волны активности заключается в притормаживании разгибания голени в конце переносной фазы, в создании небольшого угла сгибания в начале шага и разгибания в ТБС в первые две трети опорной фазы. На границе опорной и переносной фаз может возникать дополнительная волна ($45\% < t < 65\%$), которая, по-видимому, предназначена для сгибания в КС [2–6].

У детей 7 лет отмечается увеличение активности этой мышцы, прослеживается незначительная асимметрия ЭМГ-профиля на правой и левой нижних конечностях [4, 7, 10].

У детей 2 лет также четко выделяются два максимума. По сравнению с семилетними детьми и взрослыми значительно возрастает уровень минимальной межпиковой активности. Первый максимум начинается еще в предшествующем цикле, на уровне $t = 90\%$, имеет пик на уровне $t = 20\%$ следующего цикла и завершается к $t = 50\%$. Второй максимум, значительно превышающий первый, приурочен к $50\% < t < 80\%$ цикла. Можно полагать, что этот максимум активности предназначен для замедления быстрого разгибания в КС в переносную фазу.

Полученные данные свидетельствуют о том, что для ходьбы здоровых детей 2–2,5 лет характерны следующие особенности:

- 1) резкое снижение скорости ходьбы исключительно за счет уменьшения длины шага и значительное повышение темпа передвижения;
- 2) существенное нарушение явлений резонанса вследствие несоответствия высокого темпа передвижения низкой длине шага;
- 3) изменение временной структуры шага: увеличение длительности опорной и двуопорной фаз и уменьшение продолжительности переносной фазы;
- 4) наличие сгибательной позиции нижних конечностей, что приводит к уменьшению амплитуды угловых перемещений и их смещению вверх от нулевой линии;
- 5) сдвиг всех экстремальных значений угловых перемещений вправо по временной оси, несмотря на более высокий темп ходьбы;
- 6) резкое увеличение длительности максимумов активности всех мышц в течение локомоторного цикла, значительное увеличение минимальной межпиковой активности;
- 7) отсутствие второго максимума активности у некоторых мышц (прямая мышца бедра).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Несмотря на актуальность всех полученных данных, нам представляется целесообразным рассмотреть лишь некоторые из них. Как видно из представленных результатов, у здоровых детей раннего возраста наблюдаются признаки незрелости ходьбы.

Одним из таких признаков является сгибательная позиция нижних конечностей. Она выражается в появлении исходного угла сгибания во всех суставах ноги (смещение кривых угловых перемещений вверх от нулевой линии). Это приводит к существенному уменьшению длины шага, а следовательно, к замедлению ходьбы.

Уменьшение длины шага сопровождается снижением амплитуды угловых перемещений в суставах нижних конечностей. Другим следствием снижения скорости передвижения является изменение временной структуры ходьбы у детей 2 лет, а именно – увеличение длительности опорной и двуопорной фаз и уменьшение продолжительности переносной фазы. Именно вследствие изменения временной структуры ходьбы происходит перемещение экстремальных значений угловых перемещений вправо по временной оси [2–5].

Другим очень важным свидетельством незрелости ходьбы у детей раннего возраста является несоответствие изменения темпа и длины шага. Как видно из полученных данных, у детей 2 лет очень высокий темп передвижения (141 шаг/мин) сопровождается низкой длиной двойного шага (0,5 м). Данное явление приводит к нарушению явлений резонанса, т.е. к несовпадению частоты вынужденных колебаний с частотой собственных колебаний нижних конечностей. У взрослых людей и детей 7 лет увеличение скорости передвижения сопровождается повышением как темпа ходьбы, так и длины шага.

Как показали исследования А.С. Витензона и Л.Н. Самсоновой, при ходьбе детей 2 лет не существует строгой связи между темпом и длиной шага [6]. Можно полагать, что ассоциация механизмов, управляющих обеими переменными скорости, складывается в онтогенезе условно-рефлекторным путем. В результате этого у детей 7 лет и у взрослых более быстрому темпу начинает соответствовать также большая длина шага, что приводит к увеличению линейной скорости ходьбы [2–5]. Нарушение явлений резонанса приводит к повышению энергетической стоимости ходьбы у детей раннего возраста.

Особый интерес вызывает вопрос об изменении электрической активности мышц у детей раннего возраста. Как видно из рис. 2, у детей 2 лет отмечается резкое пролонгирование максимумов активности всех мышц. При этом характерно, что активность мышц-разгибателей (икроножной мышцы и прямой мышцы бедра) имеет вид широкого плато, которое занимает две зоны опорной фазы – зону максимальной активности и зону умеренной активности. Причиной пролонгирования активности является ходьба на слегка согнутых ногах. Действительно, все кинематические кривые ТБУ и КУ подняты вверх над нулевой линией, отражающей стояние с выпрямленными ногами. Такое положение кривых угловых перемещений соответствует сгибательной позиции нижних конечностей, которая сохраняется в течение локомоторного цикла.

Следовательно, ЭМГ-профиль у детей раннего возраста весьма несовершенен, поскольку у них отмечается высокая межпиковая активность, увеличение длительности активности и снижение ее амплитуды.

Несомненный интерес представляет изменение рисунка активности икроножной мышцы. Ряд авторов полагают, что у детей младшего возраста наблюдаются два ЭМГ-профиля данной мышцы [7, 10, 12].

Первый ЭМГ-профиль – незрелый, так как он существенно отличается от паттерна активности здоровых взрослых испытуемых. Он заключается в резком увеличении максимума активности икроножной мышцы с середины переносной фазы и в начале опорной фазы. Активность мышцы в середине и в конце переносной фазы приводит к уменьшению необходимого минимального расстояния стопы от опорной поверхности. Активность в опорной фазе нарушает процесс поглощения и трансформации энергии трехглавой мышцы голени.

Второй, зрелый, паттерн активности икроножной мышцы заключается в сосредоточении активности в одноопорную фазу, в период от 10 до 45 % цикла. Такой паттерн напоминает по форме ЭМГ-профиль здорового взрослого человека.

С точки зрения авторов, незрелый ЭМГ-профиль икроножной мышцы у детей раннего возраста связан с поздним созреванием ее фазовой активности. Они полагают, что замедление проводимости вследствие неполной миелинизации и большего расстояния сенсорного компонента рефлекторной дуги является важным фактором задержки созревания функции икроножной мышцы [10, 12].

Как показали исследования А.С. Витензона и А.С. Витензона с соавторами, даже к возрасту 7 лет еще не закончена перестройка внутренней структуры движений [4, 5]. Это объясняется тем, что с возрастом существенно изменяются статико-геометрические параметры тела человека, силовые характеристики мышц туловища и требуется непрерывная коррекция двигательного акта, особенно в условиях трансформации основных показателей ходьбы – темпа и длины шага.

Необходимо отметить, что только в 13 лет у здоровых детей формируется ЭМГ-профиль мышц, соответствующий здоровым взрослым испытуемым. С нашей точки зрения, полученные результаты исследования биомеханической и иннервационной структуры ходьбы у детей 2 лет крайне необходимы для выявления двигательных нарушений у детей раннего возраста, для выбора адекватных методов абилитации у этих детей и отслеживания этого процесса с учетом возрастных особенностей детей.

Выводы

1. У здоровых детей 2 лет имеются определенные признаки незрелости биомеханической и иннервационной структуры ходьбы.

2. Основными признаками незрелости ходьбы у детей 2 лет являются незначительная сгибательная позиция нижних конечностей и нарушение явлений резонанса при ходьбе.

3. В биомеханическом и электромиографическом плане сгибательная позиция нижних конечностей проявляется в смещении всех экстремальных значений угловых перемещений вверх от нулевой линии, в редукции угловых перемещений, в резком пролонгировании максимумов активности, что в итоге приводит к уменьшению длины шага и средней скорости передвижения.

4. Нарушение явлений резонанса при ходьбе у детей 2 лет проявляется в несовпадении частоты вынужденных колебаний нижней конечности с частотой ее собственных колебаний; у детей 2 лет отсутствует ассоциация механизмов, управляющих двумя переменными скорости ходьбы – темпом и длиной шага.

5. У здоровых двухлетних детей отмечается увеличение длительности максимумов активности всех мышц, повышение промежуточной межпиковой активности, отсутствие второго максимума активности у некоторых мышц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Букреева Д.П., Косилов С.А., Тамбиева А.П. Возрастные особенности циклических движений детей и подростков. – М.: Педагогика, 1975. – 159 с.
2. Витензон А.С. Закономерности нормальной и патологической ходьбы человека. – М.: Зеркало-М, 1998. – 272 с.
3. Витензон А.С. Исследование биомеханических и нейрофизиологических закономерностей нормальной и патологической ходьбы человека: дис. ... д-ра мед. наук. – М., 1982.
4. Витензон А.С., Петрушанская К.А. От естественного к искусственному управлению локомоцией. – М.: МБН, 2003. – 448 с.
5. Витензон А.С., Петрушанская К.А., Спивак Б.Г., Матвеева И.А., Гриценко Г.П., Сутченков И.А. Особенности биомеханической структуры ходьбы у здоровых детей разного возраста // Российский журнал биомеханики. – 2013. – Т. 17, № 1 (59). – С. 78–93.
6. Витензон А.С., Самсонова Л.Н. Биомеханическая и иннервационная структура ходьбы детей раннего возраста // Протезирование и протезостроение. – 1973. – Вып. 31. – С. 39–46.

7. Скворцов Д.В. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами. Анализ походки. Стабилометрия. – М.: МБН, 2007. – 638 с.
8. Филатов В.И. Клиническая биомеханика / под ред. проф. В.И. Филатова. – Л.-М., 1980. – 199 с.
9. Andriacchi T.P., Ogle J.A., Galante J.O. Walking speed as a basis for normal and abnormal gait measurement // Journal of Biomechanics. – 1977. – Vol. 10, no. 4. – P. 261–268.
10. Sutherland D.H., Olshen R., Cooper B.A., Woo S.L.Y. The development of mature gait // The Journal of Biomechanics and Joint Surgery. – 1980. – Vol. 62-A, no 3. – P. 336–353.
11. Todd F.N., Lamoreux L.W., Skinner S.R., Johanson M.E., St. Helen R., Moran S.A., Ashley K.A. Variation in the gait of normal children // The Journal of Biomechanics and Joint Surgery. – 1989. – Vol. 71-A, no. 2. – P. 196–204.
12. Winter D. The biomechanics and motor control of human gait. – Waterloo: University of Waterloo Press, 1990. – 145 p.

PECULIARITIES OF THE BIOMECHANICAL AND INNERVATIVE STRUCTURE OF WALKING OF HEALTHY CHILDREN OF THE EARLY AGE

**T.T. Batsheva, E.V. Pismennaya, K.A. Petrushanskaya (Moscow, Russian Federation),
M.V. Pisareva, M.V. Kovina (Yaroslavl, Russian Federation)**

Restoration of the locomotor function is one of the most essential problems of medicine. This problem becomes especially essential, when we deal with those children, who can't walk from their birth. Term "abilitation" is used just in relation to such children, what means not retraining children the right stereotype of walking, but appearance of this skill and its further adequate development. Nowadays, more and more specialists, who occupy themselves with abilitation of children of the early age, realize necessity of the instrumental estimation of the locomotor function. This phenomenon is connected with the fact, that in contrast with the score system of estimation, instrumental estimation of walking is maximally concrete and exact, and complex investigation of the biomechanical and innervative structure of walking gives complete idea of the locomotor disturbances of the child. Authors of this article investigated biomechanical and innervative structure of walking of 4 healthy children at the age of 2–2.5 years. On the basis of these investigations, it has been revealed, that the following peculiarities of walking are characteristic of children at the age of 2: remarkable diminution of the mean walking velocity, increase of cadence and shortening of the step length, essential transformation of the temporal structure of walking (growth of duration of the stance and double-support phase and decrease of duration of the swing phase), flexion position of the lower extremities, displacement of all extreme values of the angular displacements to the right along the temporal axis, considerable prolongation of the maximums of activity, absence of the second maximum of activity in a number of muscles, severe disturbances in the resonance properties of the lower extremities. All these peculiarities point out to the immaturity of the process of locomotion in children at the age of 2. The received data are necessary first of all as the standard ones, because walking parameters of children with the locomotor disorders of the early age must be compared with the corresponding parameters of the healthy children of the same age.

Key words: abilitation, children of the early age, biomechanical and innervative structure of walking, EMG-pattern of muscles.

Получено 8 сентября 2021