

4511.147
С-212

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

На правах рукописи

САТКУНСЕНЕ Дангуоле Ионовна

ФОРМИРОВАНИЕ НАВЫКА ХОДЬБЫ У ДЕТЕЙ ДОШКОЛЬНОГО
ВОЗРАСТА

01.02.08 - Биомеханика

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание степени
кандидата педагогических наук

МОСКВА - 1990

4511.147
С-212

Работа выполнена в Государственном Центральном ордена
Ленина институте физической культуры.

Научный руководитель - доктор педагогических наук,
профессор В.М.ЗАЦИОРСКИЙ.

Официальные оппоненты - доктор биологических наук,
профессор БАЛЬСЕВИЧ В.К.
член-корреспондент АПН СССР
д.п.н., профессор
БУЛГАКОВА Н.Ж.

Ведущее учреждение - Киевский Государственный институт
физической культуры

Защита диссертации состоится "12" 06 1980 г.,
в час. на заседании специализированного совета
Ф.046.01.01 в Государственном Центральном ордена Ленина институте
физической культуры по адресу: г.Москва, Сиреневый бульвар, 4.
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "10" 05 1980 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат педагогических
наук.

А. А. Шалманов

БИБЛИОТЕКА
Львовского гос.
института физкультуры

2466/1

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность данной диссертационной работы определяется недостаточной изученностью вопроса о зарождении, становлении и развитии акта ходьбы в онтогенезе, что в свою очередь затрудняет разъяснение механизма управления движениями как ходьбы, так и других видов локомоций.

Научная новизна исследования заключается в том, что в работе рассчитаны масс-инерционные характеристики сегментов тела детей, сформулированы некоторые общие положения, определяющие возрастную динамику становления навыка ходьбы. Рассчитана степень стабильности и устойчивости ходьбы по показателям вариативности длины и ширины шага, определено влияние длины тела детей на кинематические характеристики ходьбы. Получены уравнения регрессии, позволяющие приближенно определять механические энергозатраты при ходьбе с разной скоростью.

Практическое значение работы заключается в:

- определении масс-инерционных характеристик сегментов тела детей дошкольного возраста, а также биомеханических характеристик их тела и ноги, которые могут быть использованы при биомеханическом анализе других движений дошкольников;

- уравнениях регрессии, с помощью которых можно определить механические энергозатраты на 1 м пути при ходьбе с разной скоростью детей дошкольного возраста. С помощью полученных данных возможно оценить механическую энергоёмкость пройденного пути, а также определить оптимальную скорость передвижения для индивидуальных и групповых прогулок и походов;

- разработке возрастных норм вариативности длины и ширины шага, служащих ориентиром освоения навыка ходьбы.

Целью настоящего исследования явилось - изучить формирова-

ние навыка ходьбы на основе данных о ее эффективности (экономичности) и степени освоенности у детей дошкольного возраста.

Задачи исследования:

1. Оценить масс-инерционные характеристики сегментов тела детей дошкольного возраста.
2. Оценить эффективность ходьбы дошкольников на основе энергетических характеристик, в частности, путем регистрации количества рекуперированной энергии при ходьбе с разной, одинаковой и нормированной скоростью.
3. Оценить степень стабильности и устойчивости ходьбы детей дошкольного возраста по показателям вариативности длины и ширины шагов в естественных и усложненных условиях передвижения.

На защиту выносятся:

- фактические данные о геометрии масс тела детей дошкольного возраста;
- зависимости энергетических характеристик ходьбы детей-дошкольников от скорости ходьбы и возраста;
- возрастные нормы относительной вариативности длины и ширины шага при ходьбе в естественных и усложненных (ходьба с наклоном отягощений на конечности) условиях.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа содержит 179 страниц машинописного текста, 15 таблиц и 43 рисунка, состоит из введения, пяти глав, выводов, указателя литературы (106 источника на русском языке и 85 - на иностранных языках). В диссертации также имеются приложения и акты внедрения результатов научных исследований в практику.

Методы и организация исследования

Для решения поставленных задач были использованы следующие методы:

- анализ научно-методической литературы,

- биомеханическая киносъемка,
- механико-математическое моделирование,
- антропометрия,
- ихнография,
- математико-статистическая обработка полученных экспериментальных данных.

На первом этапе исследования были проанализированы литературные источники, касающиеся вопросов о зарождении, становлении и развитии акта ходьбы в онтогенезе.

На втором этапе антропометрическому обследованию подверглись 106 мальчиков и девочек дошкольного возраста (от 3 до 7 лет). Обследовались нормально развитые дети со средним отклонением жировой ткани. По антропометрическим данным детей от 1 года до трех лет, представленным сотрудниками Института антропологии МГУ, и собственным данным были рассчитаны масс-инерционные характеристики (МИХ) тела детей дошкольного возраста (1-7 лет).

Полученные данные позволили с помощью киносъемки определить энергетические характеристики ходьбы детей разного возраста. Киносъемка осуществлялась с помощью 16-мм кинокамеры "Valex -H 16E" (Швейцария), с частотой съемки 50 к/с. Было снято 49 попыток. Из них 22 обработаны для всех 14 звеньев тела и 17 - для звеньев нижних конечностей. Обработка первичных данных киносъемки, нанесенных на перфоленты, производилась на ЭВМ СМ-4 с помощью программы, составленной Б.И. Прилуцким (1983), позволяющей определить биомеханические характеристики движений звеньев тела в двухмерном пространстве.

Кроме этого, с помощью ихнографии регистрировались длина и ширина девяти последовательных шагов. В каждой возрастной группе в среднем было сделано около 140 попыток. Скорость ходьбы менялась от медленной до быстрой и максимальной. Средняя скорость

попытка определялась при помощи фотоэлектронных датчиков. На основе данных ихнографии были рассчитаны вариативность длины и ширины шага.

Наряду с исследованием вариативности ходьбы в естественных условиях, было проведено исследование ходьбы с отягощениями, наложенными на дистальном конце голени, на дистальном конце бедра и с отягощением на голени и бедре одновременно. Полученные данные позволили оценить степень стабильности и устойчивости ходьбы детей разного возраста.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ литературных данных позволил заключить, что процесс формирования навыка ходьбы следует рассматривать в комплексе с анализом биомеханических характеристик ходьбы (при оценке ее эффективности) и уровнем ее освоенности (стабильности и устойчивости этих характеристик). Как известно, в основе управления движениями при ходьбе (которая может быть описана довольно разными величинами биомеханических характеристик) лежит ее эффективность. Взрослый человек при ходьбе выбирает такое соотношение длины и частоты шагов, при котором энергетические затраты минимальны (А.В.Саранцев, А.С.Витензон, 1973; *Bard*, 1959; *Corcoran*, 1970; *Hettinger*, *Müller*, 1953; *Morawski et al.* 1973 и др.). Такого рода минимизация обусловлена разными видами сохранения (рекуперации) механической энергии (В.М.Зациорский, Н.А.Якунин, 1980; Г.В.Корневу, 1974; *Cavagna*, 1978; *Chow*, 1971; *Hatze*, 1976; *Nubar*, 1961 и др.). Некоторые авторы (В.М.Зациорский, 1968; Р.Розен, 1969) эти факты рассматривают как свидетельство того, что при построении движений центральная нервная система (ЦНС) руководствуется некоторыми критериями энергетического минимума (оптимума). Если эта гипотеза верна, т.е. если человек при ходьбе

действительно строит свои движения таким образом, чтобы минимизировать энергозатраты, то исследование энергетики ходьбы детей в период становления этого навыка позволяет определить в какой степени этот навык обусловлен генетически и в какой - является следствием обучения.

Геометрия масс тела детей дошкольного возраста

Масс-инерционные характеристики тела детей с возрастом (независимо от пола) существенно изменяются. У детей 1 года наибольший процент массы тела приходится на средний отдел туловища (21,43%), верхний отдел туловища (17,51%) и голову (16,69%). С возрастом относительная масса этих сегментов, особенно головы, уменьшается. У семилетних детей масса среднего отдела туловища, верхнего отдела туловища и головы соответственно составляет 18,46%, 15,60% и 11,36% от массы тела. Относительная масса бедра и голени с возрастом увеличивается. У 7-летних детей относительная масса бедра достигает 12,97%, голени - 3,59%, тогда как у детей 1 года - всего лишь 8,96 и 2,71% соответственно.

С возрастом изменяется распределение массы в сегменте относительно его длины. Масса бедра, голени и плеча распределяется более равномерно по длине сегмента. Относительные радиусы инерции относительно сагиттальной и фронтальной осей увеличиваются. Относительные радиусы инерции относительно сагиттальной и фронтальной осей туловища и головы уменьшается. Величины относительных радиусов инерции сегментов тела детей к 7-ми годам, в основном, приравниваются к значениям взрослых.

У детей дошкольного возраста относительное положение центра масс бедра примерно равно 37,2%, стопы - 58,77%, плеча - 50,86% от "биомеханической" длины соответствующих сегментов.

Таблица 1

Биомеханические характеристики ноги детей
в возрасте 3-7 лет

Средний вес тела (кг)	M%	ЦМ%	R%	JF	T	f
15,19	14,87	35,14	22,14	0,105	1,067	0,937
17,47	15,32	34,74	23,00	0,152	1,125	0,869
20,57	16,00	34,84	23,02	0,213	1,162	0,860
23,08	16,83	34,88	23,39	0,301	1,216	0,822
26,64	17,72	33,64	22,68	0,382	1,233	0,811

Таблица 2

Биомеханические характеристики тела детей
в возрасте 3-7 лет

Средний вес тела (кг)	ОЦМ%	R ₁ , %	JF ₁	R ₂ , %	JF ₂	T	f
15,19	57,04	23,18	0,841	61,24	5,869	1,627	0,614
17,47	56,63	24,59	1,121	65,29	7,907	1,677	0,596
20,57	57,99	24,68	1,243	68,51	9,574	1,718	0,582
23,08	58,76	27,17	1,734	75,40	13,276	1,808	0,553
26,64	57,32	28,32	2,057	76,58	15,042	1,823	0,548

Обозначения: M% - отношение массы ноги к массе тела, %.

ЦМ% - положение центра масс на продольной оси ноги, %.

R, % - отношение радиуса инерции относительно фронтальной
оси ноги к длине тела, %.

T - период колебания выпрямленной ноги, с.

f - частота собственных колебаний ноги, Гц.

- JF - момент инерции ноги относительно фронтальной оси, кг м^2 .
- OLM - положение общего центра масс на продольной оси тела относительно подошвенной поверхности стоп, %.
- $R_1, \%$ - отношение радиуса инерции относительно фронтальной оси тела к его длине относительно оси вращения, проходящей через OLM , %.
- JF_1 - момент инерции тела относительно фронтальной оси, проходящей через OLM , кг м^2 .
- $R_2, \%$ - относительный радиус инерции тела относительно оси вращения, касающейся подошвенной поверхности стоп, %.
- JF_2 - момент инерции тела относительно оси вращения, касающейся подошвенной поверхности стоп, кг м^2 .

С возрастом детей (от 3 до 7 лет) изменяются биомеханические характеристики ноги и тела. Относительная масса ноги увеличивается от 14,87 до 17,72% массы тела. Центр масс ноги приближается к оси вращения (относительное его положение изменяется от 35,14 до 33,64% длины ноги). Момент инерции ноги за один год увеличивается в среднем на 38,4% (тогда как длина ноги на 7,9%, масса - на 20,56%). Момент инерции тела увеличивается на 27,2% (длина тела на 6,43%, вес на 15,09%). Относительный радиус инерции относительно фронтальной оси ноги с возрастом не меняется. Относительный радиус инерции тела относительно оси вращения, касающейся подошвенной поверхности стоп и относительно оси вращения, проходящей через OLM , увеличивается.

С возрастом распределение массы ноги относительно тазобедренного сустава, а масса тела относительно стоп изменяется таким образом, что период их колебаний увеличивается, частота - уменьшается.

Энергетические характеристики ходьбы детей дошкольного возраста

В исследовании онтогенеза ходьбы существует проблема сравнения механических энергозатрат у детей разного возраста. Общепри-

нятые способы нормирования механических энергозатрат на единицу пути по весу тела при одинаковой скорости передвижения не позволяют выявить возрастные особенности ходьбы. Одна из причин состоит в том, что определенная скорость ходьбы для детей в возрасте 1,7 года может быть предельной, для 6-7-летних детей средней, а для взрослых - медленной. В диссертационной работе было показано, что скорость ходьбы существенно влияет на изменение механической энергии сегментов тела детей в цикле ходьбы и на величину механической работы соответствующих сегментов.

Дети разного дошкольного возраста, "идушие рядом", то есть при ходьбе с одинаковой скоростью (1,4 м/с) на 1 м пути тратят разное количество механической энергии. Например, дети 1,7 года как на движение конечностей относительно ОЦМ (W_{int}), так и на продвижение тела (W_{ext}) затрачивают больше механической работы, чем дети старшего возраста. Однако, если величина внутренней работы с возрастом детей уменьшается почти в три раза (от 2,2 Дж/кгм у детей 1,7 года до 0,70 Дж/кгм у детей 6-7 лет), что внешняя работа с возрастом детей уменьшается в пределах 0,45 - 0,25 Дж/кгм. Следует отметить, что у детей 6-7 лет при скорости ходьбы 1,7 м/с величина внешней работы приближается к нормам взрослых, а величина внутренней работы превосходит их. При этом дети разного возраста сохраняют и разное количество механической энергии. Дети 6-7 лет рекуперировывают примерно 20% внешней механической энергии, тогда как дети 1,7 года - в четыре раза меньше (всего 5%), у взрослых при скорости ходьбы 1,7 м/с внешней механической энергии рекуперировываются примерно 60%. Однако следует отметить, что у детей в возрасте 1,7 года при ходьбе со скоростью 1,4 м/с ноги передвигаются более экономично, чем у старших детей и у взрослых, а у старших дошкольников - более экономично, чем у взрослых. Среднее значение количества рекуперировываемой энергии сег-

ментов ноги детей в возрасте 1,7 года достигает $22,42 \pm 2,30$, в возрасте 6-7 лет - $19,71 \pm 2,80$, у взрослых - всего $8,3 \pm 1,56\%$.

Для выявления возрастных особенностей механических энергозатрат цикла ходьбы была принята гипотеза, что дети и взрослые будут двигаться в условиях "динамического сходства" (Alexander 1984), когда при равных числах Фруда скорость их передвижения будет пропорциональна квадратному корню длины их конечностей. Задаваясь определенным числом Фруда (мы выбрали его равным 0,35 - это значение числа Фруда для всех возрастов соответствует доступной им скорости), можно определить скорости ходьбы, соответствующие условию "динамического сходства".

Во время ходьбы со скоростью, при которой число Фруда равняется 0,35, механическая работа перемещения W_i с возрастом детей достоверно изменяется у бедра и туловища. Механическая работа бедра (W_i) в дошкольном возрасте уменьшается от 0,55 до 0,21 Дж/кг ($p < 0,01$), туловища - увеличивается от 0,26 до 0,37 Дж/кг ($p < 0,1$). У взрослых величина W_i бедра значительно больше ($p < 0,05$), чем у дошкольников. Следовательно, существует определенный возраст, при котором W_i бедра начинает увеличиваться. Это может быть связано с изменением вклада отдельных фракций в величину квазимеханической работы (W^{km}) ($W^{km} = \Delta W_K^v + \Delta W_K^w + \Delta W_p$ - подробнее см. В.М.Эвиорский, Н.А.Якунин, 1980) сегмента с ростом детей. Таким образом, появляется возможность перехода энергии из одного вида энергии в другой. Как видно из рис. 1, величина квазимеханической работы в дошкольном возрасте изменяется незначительно. Однако при этом достоверно увеличиваются величины механической работы, затраченной на изменение кинетической поступательной, потенциальной энергии и уменьшается механическая работа, затраченная на изменение кинетической вращательной энергии. В дошкольном возрасте вклад механической работы, затрачен-

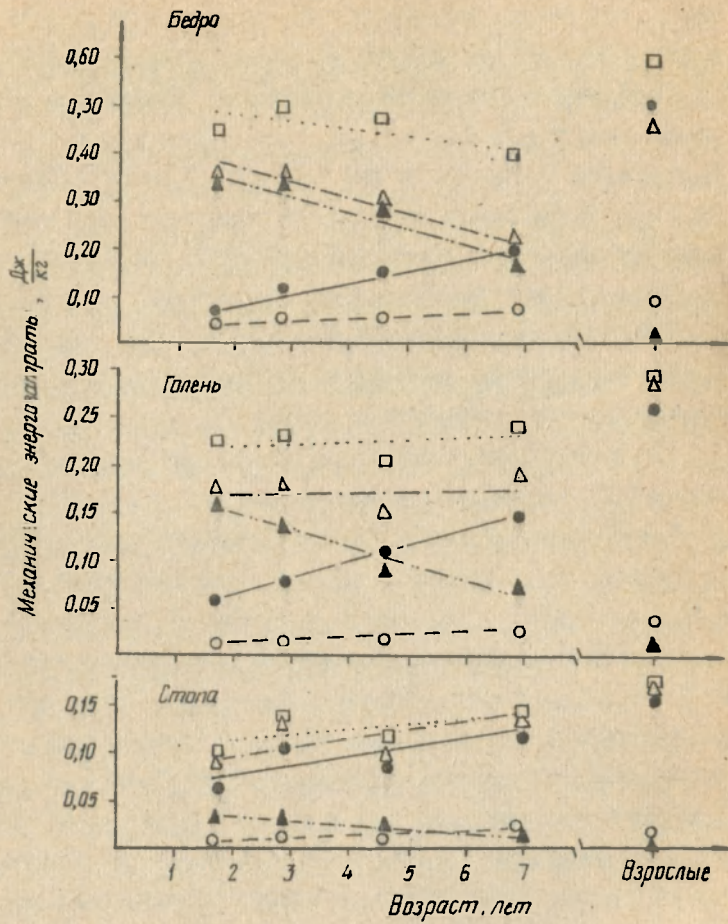


Рис. 1 Механические энергозатраты сегментов нижних конечностей за цикл ходьбы при скорости, соответствующей числу Фруда $Fr = 0,35$, в расчете на 1 кг веса тела в зависимости от возраста детей.
 Обозначения: \bullet - W_k^r , \circ - W_p , \blacktriangle - W_k , \triangle - W_i , \square - W^{km} .

ной на изменение кинетической поступательной энергии в величину квазимеханической работы сегмента, увеличивается примерно в 3 раза (от 15,23 до 45,8%), вклад механической работы, затраченной на изменение потенциальной энергии, примерно в 2 раза (от 8,4 до 15,8%), а вклад механической работы, затраченной на изменение кинетической вращательной энергии, уменьшается вдвое (от 76,4 до 33,3%).

Коэффициент рекуперации энергии бедра наибольшего значения у детей дошкольного возраста достигает в 6-7 лет (44,82%). Очевидно, что у детей этого возраста величины отдельных фракций находятся в таком сочетании, при котором создаются наилучшие условия для перехода энергии звена и, тем самым, для его передвижения с наименьшими энергозатратами. Как видно из рис. 1 и 3, увеличение коэффициента рекуперации бедра в возрасте 1,7 года - 5 лет сопровождается постепенным приближением значений механической работы, затраченной на изменение кинетической вращательной и кинетической поступательной энергии сегмента. Следовательно, увеличение количества рекуперированной энергии происходит за счет перехода кинетической вращательной энергии в кинетическую потенциальную и обратно, так как механическая работа, затраченная на изменение потенциальной энергии сегмента, увеличивается всего на 0,01 Дж/кг.

Особенности изменения отдельных фракций механической работы перемещения туловища с возрастом детей состоит в том, что дети 1,7 года выполняют больше работы для поднимания и опускания туловища, чем для его перемещения вперед, тогда как у старших детей наблюдается противоположное явление (рис. 2). Механическая работа, затраченная на изменение кинетической энергии у детей в возрасте 1,7 года, составляет 46,88%, на изменение потенциальной энергии - 53,11% квазимеханической работы туловища. У 6-7-

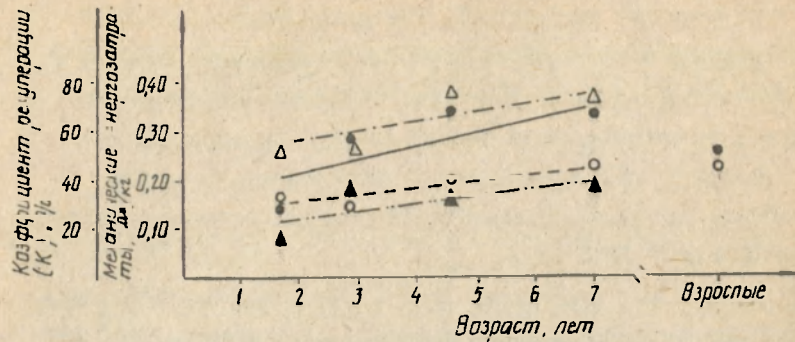


Рис. 2 Механические энергозатраты туловища детей за цикл ходьбы на 1 кг веса тела со скоростью, соответствующей числу Фруда $Fr = 0,35$, в зависимости от возраста.

Обозначения: ● — W_k , ○ — W_p , △ — W_i , ▲ — K — коэффициент рекуперации туловища.

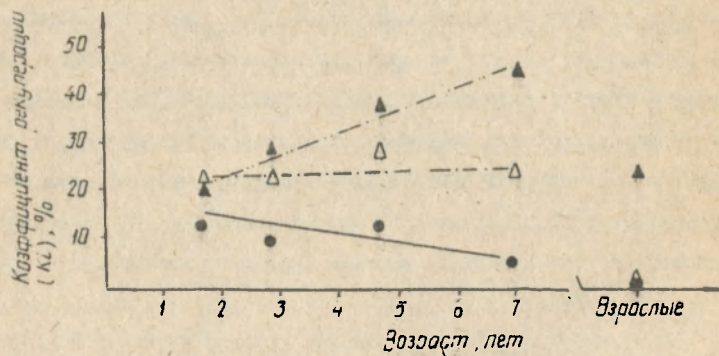


Рис. 3 Коэффициент рекуперации K (%) сегментов нижних конечностей за цикл ходьбы при скорости, соответствующей числу Фруда $Fr = 0,35$, в зависимости от возраста детей.

Обозначения: ● — стопа, △ — голень, ▲ — бедро.

летних детей эти величины соответственно достигают 59,51 и 40,5%.

Внутренняя работа с возрастом детей достоверно уменьшается, внешняя увеличивается. Как видно из рис. 4, в дошкольном возрасте внутренняя работа изменяется от 1,25 до 0,70 Дж/кг, а внешняя - от 0,34 до 0,46 Дж/кг. Дети 1,7 года при движениях конечностей относительно ОЦМ за цикл ходьбы выполняют на 0,62 Дж/кг (в 2 раза) больше, чем взрослые. Разница в величинах внешней механической работы, выполняемой детьми 1,7 года и взрослыми, составляет всего 0,08 Дж/кг. У детей 1,7 года работа на перемещение конечностей относительно ОЦМ в 3,7 раза больше, чем на продвижение его вперед. С возрастом это соотношение уменьшается: у 6-7 летних детей оно больше только в 1,5 раза, что характерно и для взрослых.

Работа поддержания скорости передвижения тела ("продольная" работа) в дошкольном возрасте изменяется недостоверно, а работа против действия сил тяжести ("вертикальная" работа) увеличивается от 0,33 до 0,49 Дж/кг. Вертикальная работа в цикле ходьбы детей дошкольного возраста в 6-10 раз больше продольной, у взрослых же продольная работа в 1,6 раза больше вертикальной (соответственно 0,50 и 0,32 Дж/кг). Иначе говоря, у детей в возрасте 1,8 года за цикл ходьбы 80% внешней работы совершается при поднимании и опускании ОЦМ и только 20% при продвижении ОЦМ вперед. У взрослых соотношение этих работ составляет 40 и 60 %.

В дошкольном возрасте количество рекуперированной энергии ОЦМ достоверно не изменяется и в среднем равняется $12,80 \pm 3,5\%$. У взрослых количество рекуперированной внешней механической энергии достигает 48,73%.

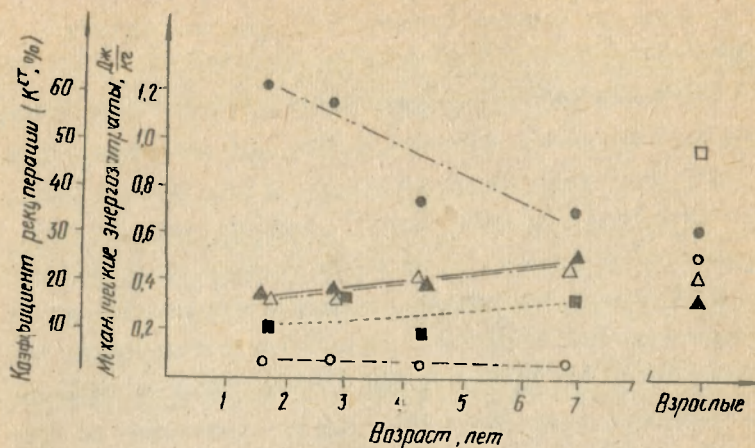


Рис. 4 Механические энергозатраты тела детей за цикл ходьбы со скоростью, нормированной числом Фруда $Fr = 0,35$, в расчете на 1 кг веса тела в зависимости от возраста.

Обозначения: ● - W_{int} , Δ - W_{ext} , ○ - W_K^V ОЦМ, ▲ - W_P ОЦМ, ■ - коэффициент рекуперации ОЦМ (%).

Вариативность ходьбы детей дошкольного возраста

Стабильность движений в онтогенезе наиболее корректно оценивается с помощью определения вариативности угловых характеристик. Такой подход исключает влияние увеличения длины тела детей с возрастом на вариативность длины шага и позволяет определить изменение стабильности выполняемого двигательного действия, что в определенной степени отражает уровень освоенности данного двигательного навыка.

С помощью определения относительной вариативности длины шага было показано, что ходьба в обычных условиях с возрастом детей становится более стабильной. Величина относительной вариатив-

ности длины шага в дошкольном возрасте существенно уменьшается, хотя взрослой нормы не достигает.

Наблюдаются большие межиндивидуальные различия вариативности длины и ширины шага у детей в возрасте 2,6 - 3,6 года, что отражает сугубо индивидуальные темпы стабилизации ходьбы. К 6-7-летнему возрасту ходьба разных детей достигает примерно одинакового уровня ее стабильности.

Было определено, что дети в дошкольном возрасте слабо приспосабливаются к новым условиям ходьбы. Результаты сравнения длины, частоты шагов и естественной скорости передвижения при обычной ходьбе и ходьбе с отягощениями представлены на рисунке Б. На рисунке показано изменение параметров ходьбы в процентном отношении от исходного уровня - обычной ходьбы. Как видно, естественная скорость ходьбы (столбец А) больше всего изменяется у взрослых. При всех вариантах ходьбы (с отягощением на дистальном конце голени - I вариант, с отягощением на дистальном конце бедра - II вариант, с отягощением как на голени, так и на бедре - III вариант) скорость их естественной ходьбы увеличивается больше чем на 10%. У детей 4 и 6 лет она изменяется всего на несколько процентов: при ходьбе в I и во II вариантах скорость естественной ходьбы увеличивается, а в III варианте уменьшается. При этом частота шагов (столбец В) у взрослых увеличивается более существенно, чем длина (столбец Б). При ходьбе с отягощением на бедре увеличение частоты шагов достигает наибольшего значения - 12% (соответственно частота шагов увеличивается от 1,81 шаг/с до 1,99 шаг/с). Противоположная картина (за исключением ходьбы с отягощением на голени и бедре) наблюдается у детей (см. рис. Б). Здесь изменение естественной скорости ходьбы в большей степени обусловлено изменением длины шага. Еще раз следует подчеркнуть, что у детей все изменения представленных

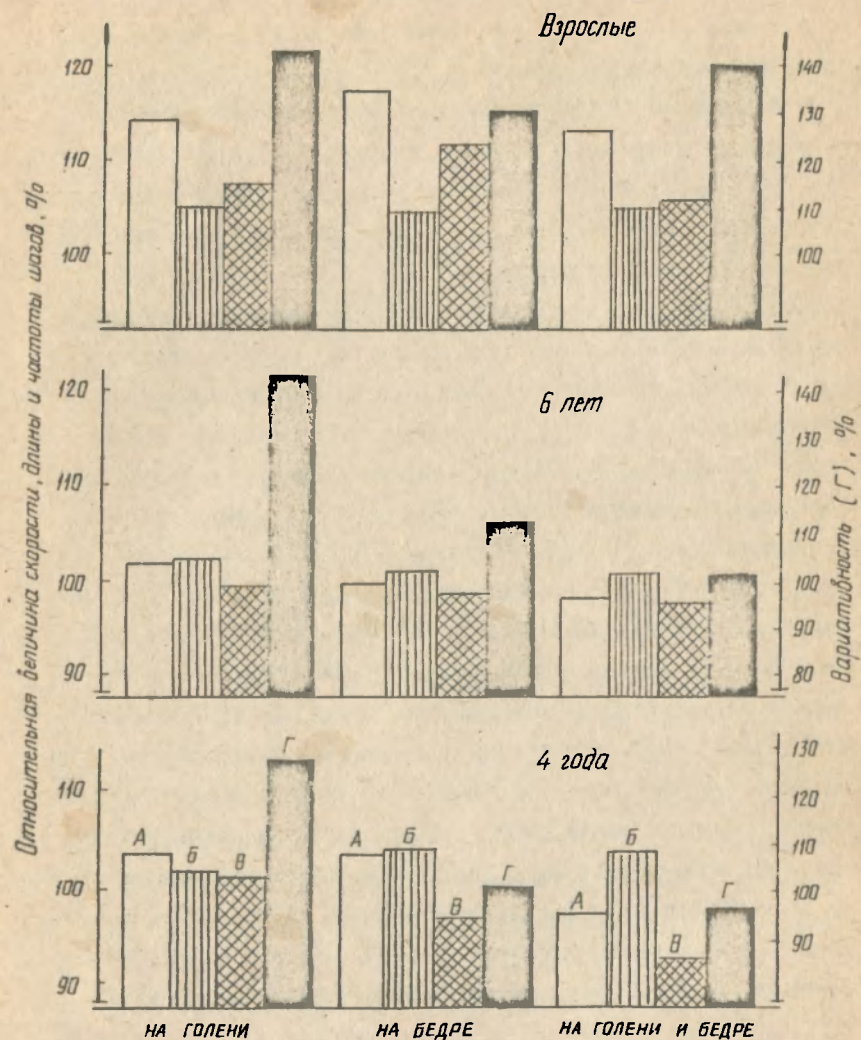


Рис. 5 Величины скорости ходьбы (А), длины (В), частоты шагов (В) и относительной вариативности длины шага (Г) у детей разного возраста при ходьбе с разными вариантами отягощений по отношению к тем же величинам при ходьбе без отягощений (в %)

параметров ходьбы не превышат 5% от исходного уровня – ходьбы в естественных условиях.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что при ходьбе с разными вариантами отягощений на ногах скорость естественной ходьбы, длина и частота шагов у детей более стабильны, чем у взрослых. По этому поводу представим следующие соображения.

Предположим, что действительно при построении движений ЦНС взрослых людей организует двигательные действия в соответствии с некоторыми критериями энергетического минимума. Тогда во время обычной ходьбы афферентация хорошо согласуется с требованиями программы энергетического минимума, вследствие чего коррекция движений незначительная, вариативность шагов небольшая. При ходьбе с отягощениями на ногах, когда сильно повышается активность мышц, создается торможение сгибания коленного сустава (Я.В. Левин, А.С. Витензон, 1970), афферентация от мышечных веретен, рецепторов Гольджи и суставных рецепторов изменяется. При этом ЦНС каким-то неизвестным в настоящее время образом определяет, что ходьба в таких условиях не соответствует требованиям программы энергетического минимума. Так как навык ходьбы у взрослых давно и прочно сформирован, что по теории И.М. Гельфанда (1966) означает, что существует выработанный простой способ управления движением, для которого характерны поиск и коррекция подходящей синергии или группы синергий, а также выделение ведущей афферентации, начинается подбор такого соотношения длины и частоты шагов, чтобы вновь минимизировать энергозатраты. Вследствие чего изменяются длина и частота шагов, увеличивается вариативность длины шага в среднем на 40%.

Предположим, что у детей во время обычной ходьбы происходит такой же процесс управления движениями, как у взрослых. Только здесь вариативность длины шага больше, так как нет "выработанного простого способа управления движением" (И.М. Гельфанд и др., 1966)

(навык еще не сформирован). При ходьбе с отягощением, когда афферентация "непривычная" и "неожидаемая", управлять движением так тяжело, что включается другая программа управления, которая основывается не на принципе энергетического минимума, а на сохранении кинематики ходьбы как определенного вида передвижения. Этим можно объяснить высокую степень стабильности параметров ходьбы детей при изменении условий передвижения. Существенную роль здесь играет не полностью завершённое развитие двигательного анализатора дошкольников (Дж.Шаде, Д.Форд, 1976).

При ходьбе с отягощением на голени у детей значительно увеличивается относительная вариативность длины шага. Последнее можно объяснить тем, что груз на дистальном конце голени по сравнению с другими вариантами отягощений, не только повышает активность мышц, но и сильно изменяет соотношение масс и моментов инерции голени и бедра, тем самым нарушая согласованное управление различными мышечными группами. Экспериментальные данные Н.И.Коча и др. (1966) показали, что именно такого типа нарушение при "деафферентации" снижает координированность безусловных двигательных рефлексов. У взрослых относительная вариативность длины шага при ходьбе с отягощением на дистальном конце голени достигает наибольшей своей величины.

В В В О Д Ы

1. Сравнение масс-инерционных характеристик сегментов тела детей разного возраста показало, что пропорции тела с возрастом существенно меняются за счет уменьшения относительной массы головы, верхнего и среднего отделов туловища и увеличения относительной массы бедра и голени. Изменяется также распределение массы в сегментах относительно их длины; масса бедра, голени и плеча распределяется более равномерно по длине сегмента. Относительные радиусы инерции сегментов тела детей от возраста практи-

чески не зависят и, в основном, соответствуют значениям этих показателей у взрослых. Период собственных колебаний ноги у детей от 1 года 6 месяцев до 7 лет с возрастом увеличивается.

2. У детей всех возрастных групп с ростом скорости ходьбы механическая работа, затраченная на изменение кинетической переносной и кинетической вращательной энергии сегментов нижних конечностей, увеличивается, механическая работа, затраченная на изменение потенциальной энергии, — уменьшается. При этом наблюдается уменьшение внешней и увеличение внутренней работы. Степень взаимосвязи "скорость ходьбы — механическая работа" у сегментов ног увеличивается "снизу вверх", то есть наименьшая у стопы, наибольшая у бедра.

3. С возрастом детей уменьшается влияние скорости ходьбы на значения отдельных фракций механической работы перемещения всех сегментов тела, особенно механической работы, затраченной на изменение кинетической вращательной энергии нижних конечностей и механической работы, затраченной на изменение потенциальной энергии туловища. Эта закономерность характерна для внутренней работы тела и вертикальной работы общего центра масс. Влияние скорости ходьбы на величину продольной работы общего центра масс с возрастом увеличивается.

4. Количество рекуперированной энергии сегментов тела и общего центра масс у детей всех возрастных групп тесно связано со скоростью ходьбы. Для каждого сегмента существует определенная скорость передвижения, при которой коэффициент рекуперации достигает наибольшей своей величины. У детей старшего дошкольного возраста максимальное количество рекуперированной энергии общего центра масс наблюдается при скорости ходьбы, близкой к максимальной.

5. Дети разного возраста, идущие с одной и той же скоро-

стью (1,4 м/с), для преодоления 1 м пути выполняют механическую работу разной величины. У детей в возрасте 1 года 6 месяцев полная механическая работа тела в расчете на 1 кг веса тела достигает 2,65 дж/кгм, у 6-7-летних детей - 0,95 дж/кгм (взрослая норма - примерно 0,60 дж/кгм).

6. Механические энергозатраты за цикл при ходьбе в условиях "динамического сходства (при равных значениях числа Фруда) у детей разного возраста сравнительно близки. Соответственно полная механическая работа тела у малышей достигает 1,59 дж/кг, у 6-7-летних - 1,16 дж/кг (взрослая норма примерно 1,04 дж/кг). В этих условиях ходьбы сегменты нижних конечностей дошкольников рекуперируют механической энергии примерно в 2,5 раза больше, а общий центр масс примерно в 3,8 раза меньше, чем у взрослых. Малоэкономичное перемещение общего центра масс дошкольников компенсируется большим количеством энергии, сохраненной сегментами нижних конечностей.

7. С возрастом один из механизмов сохранения энергии (маятникообразное движение ног, при котором полная механическая энергия нижних конечностей сохраняется за счет ее поочередного перехода из кинетической вращательной в кинетическую поступательную энергию и обратно) постепенно заменяется на другой (сохранение полной механической энергии общего центра масс за счет ее перехода из кинетической в потенциальную энергию и обратно).

8. Вариативность длины и ширины шагов в онтогенезе может быть наиболее точным образом оценена с помощью нормированных величин. Величина относительной вариативности длины шага в дошкольном возрасте существенно уменьшается, хотя взрослой нормы не достигает. Скорость ходьбы не влияет на величину относительной вариативности длины шага у детей всех возрастных групп.

9. У детей в возрасте 2 года 6 месяцев - 3 года 6 месяцев наблюдаются большие межиндивидуальные различия вариативности длины и ширины шага, что отражает сугубо индивидуальные темпы стабилизации ходьбы. К 6-7-летнему возрасту ходьба разных детей достигает примерно одинакового уровня ее стабильности.

10. Дети в дошкольном возрасте слабо приспосабливаются к новым условиям ходьбы. При искусственном изменении масс-инерционных характеристик ноги скорость ходьбы, частота и длина шага изменяется не так существенно, как у взрослых. Можно предположить, что в зависимости от уровня становления навыка ходьбы при построении движений центральная нервная система управляет ходьбой в соответствии с разными критериями. Таким критерием для взрослых (при прочном навыке ходьбы) можно считать минимизацию энергозатрат в любых условиях передвижения, для детей - сохранение кинематических характеристик ходьбы как определенного вида передвижения. Это позволяет считать ходьбу детей дошкольного возраста недостаточно сформированным двигательным актом.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Селуянов В.Н., Чугунова Л.Г., Вяршинскене Д.И. Методика оценки масс-инерционных характеристик сегментов тела детей // Актуальные вопросы биомеханики спорта (Междузювский сборник научных трудов). - Смоленск, 1965. - С. 129-130.

2. Селуянов В.Н., Чугунова Л.Г., Вяршинскене Д.И. Параметры геометрии масс сегментов тела детей 3-6 лет // Тезисы докладов республиканской научной конференции "Проблемы начальной подготовки и отбора спортсменов и пути повышения эффективности спортивной тренировки юных спортсменов". - Каунас, 1966. - С. 76-78.