

ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЕВОЧЕК И МАЛЬЧИКОВ 9–10 ЛЕТ

И.А. Криволапчук^{1,2,3}, Д.В. Мельников¹, М.Б. Чернова¹, Р.М. Васильева¹

¹Институт возрастной физиологии Российской академии образования, г. Москва, Россия,

²Государственный университет управления, г. Москва, Россия,

³Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва, Россия

Цель исследования: на основе кластерного анализа выявить типологические особенности энергетического обеспечения мышечной деятельности девочек и мальчиков 9–10 лет. **Методика.** В исследовании приняли участие практически здоровые девочки ($n = 201$) и мальчики ($n = 176$) 9–10 лет. Для исследования мышечной энергетики и физической работоспособности использовали комплекс эргометрических и функциональных показателей. Оценивали также двигательную подготовленность и физическое развитие, определяли типы телосложения. **Результаты исследования.** Анализ межгрупповых различий выявил, что мальчики 9–10 лет превосходят ($p < 0,05–0,001$) девочек по показателям мышечной энергетики и работоспособности. У мальчиков и девочек на основе кластерного анализа выявлено по 4 варианта организации энергетического метаболизма, характеризующихся типичными сочетаниями уровней развития аэробных, анаэробных гликолитических и анаэробных алактатных возможностей организма с уровнями мышечной работоспособности, двигательной подготовленности и физического развития. Установлено, что среди мальчиков и девочек с преобладанием аэробного метаболизма высока встречаемость детей с высоким уровнем общей и силовой выносливости и лептосомными типами телосложения, а с преобладанием анаэробного метаболизма – с высоким уровнем скоростных, силовых, скоростно-силовых способностей и эуризомными типами телосложения. **Заключение.** Энергетическое обеспечение мышечной деятельности у детей 9–10 лет неоднородно. У девочек выявлены аэробный, смешанный, фосфатный и анаэробный, а у мальчиков – аэробный, смешанный, универсальный и анаэробный варианты организации мышечной энергетики. Выделенные варианты энергообеспечения скелетных мышц необходимо учитывать в процессе физического воспитания, оздоровительной и спортивной тренировки детей 9–10 лет.

Ключевые слова: тип энергообеспечения, работоспособность, двигательная подготовленность, физическое развитие.

Введение. В ряде работ установлена неоднородность энергетического метаболизма у детей, характеризующаяся наличием нескольких типов индивидуальной организации энергообеспечения мышечной деятельности [2–5]. Вместе с тем в настоящее время проводится крайне мало исследований, посвященных анализу типологических особенностей энергообеспечения мышечной деятельности у детей разного возраста и пола. В частности, нет данных о вариантах индивидуальной организации энергообеспечения скелетных мышц у девочек и мальчиков 9–10 лет. Сравнительные исследования, направленные на выявление половой специфичности структуры мышечной энергетики и работоспособности у детей этого возраста, не проводились.

Цель исследования: на основе кластерного анализа выявить типологические особенности энергетического обеспечения мышечной деятельности девочек и мальчиков 9–10 лет.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие практически здоровые девочки ($n = 211$) и мальчики ($n = 176$) 9–10 лет. Организация работы соответствовала требованиям Хельсинской декларации. Расчет эргометрических критериев мышечной энергетики осуществляли на основе выполнения двух тестовых беговых нагрузок максимальной и большой мощности. Определяли индивидуальные константы уравнения Muller а и b [2, 5]. Находили скорость беговых нагрузок, максимальное время реализации которых со-

ставляло 1, 40, 240, 900 с (V_{max} , V_{40} , V_{240} , V_{900}), и интегральную работоспособность (Lns). В качестве функциональных параметров мышечной энергетике и работоспособности использовали максимальное потребление кислорода (VO_{2max}), мощность нагрузки при ЧСС 170 уд./мин (PWC_{170}), интенсивность накопления пульсового долга (ИНПД) [5]. Максимальную силу (МС) определяли с помощью станового динамометра. Измеряли длину и массу тела, рост сидя, окружность головы, грудной клетки на выдохе, ширину плеч, ширину таза, ЖЕЛ. При определении типов телосложения использовали схему В.Г. Штефко. Батарея моторных тестов включала: бег 30 м, бег 60 м, челночный бег 3×10 м, 6-минутный бег, прыжок в длину с места, наклон вперед, поднятие туловища из положения лёжа на спине за 1 мин.

Применяли кластерный анализ. Использовали интеративный метод группировки k -средних. За оптимальную классификацию принималась такая, при которой расстояние между центрами выделенных кластеров и плотность точек внутри кластеров были максимальны.

Результаты исследования. Анализ межгрупповых различий выявил, что мальчики 9–10 лет превосходят ($p < 0,05–0,001$) девочек по всем показателям мышечной энергетике и физической работоспособности. Учитывая это обстоятельство, уровни развития рассматриваемых показателей определяли для мальчиков и девочек отдельно (табл. 1). В процессе работы последовательно выделялись от 2 до 6 кластеров. Во всех случаях имелись дети, которых сложно было отнести к какому-нибудь кластеру.

Результаты показали, что у мальчиков и девочек четырехкластерная структура физического состояния обеспечивает максимальные статистически значимые попарные различия между разными типологическими группами. На этой основе выделены по 4 варианта индивидуальной организации энергообеспечения мышечной деятельности девочек и мальчиков 9–10 лет.

Между девочками, вошедшими в отдельные кластеры, выявлены статистически значимые различия ($p < 0,05–0,01$) по ряду из рассматриваемых параметров энергообеспечения мышц и работоспособности, двига-

Таблица 1
Table 1

Уровни развития показателей энергообеспечения мышечной деятельности
и физической работоспособности детей 9–10 лет
Indicators of energy supply and physical performance in 9-10 year-old children

Показатели / Parameter	M ± σ	Уровни развития / Level		
		Низкий / Low	Средний / Average	Высокий / High
Девочки/ Girls				
V_{max} , м/с / V_{max} , m/s	6,06 ± 0,62	< 5,65	5,65–6,47	6,47 >
V_{40} , м/с / V_{40} , m/s	3,61 ± 0,32	< 3,29	3,29–3,82	3,82 >
V_{240} , м/с / V_{240} , m/s	2,81 ± 0,36	< 2,57	2,57–3,05	3,05 >
V_{900} , м/с / V_{900} , m/s	2,33 ± 0,38	< 2,07	2,07–2,59	2,59 >
Lns , отн. ед. / Lns , rel. un.	34,7 ± 11,3	< 27,1	27,1–42,3	42,3 >
Коэф. а, отн. ед. / a coef., rel. un.	5,41 ± 2,15	< 3,97	3,97–6,85	6,85 >
Коэф. b, отн. ед. / b coef., rel. un.	10,4 ± 3,54	< 8,0	8,0–12,5	12,5 >
VO_{2max} , мл/мин·кг / VO_{2max} , ml/min·kg	53,4 ± 8,2	< 48	48–59	59 >
PWC_{170} , кгм/мин·кг / PWC_{170} , kgm/min·kg	12,1 ± 2,9	< 10,2	10,2–14,0	14,0 >
ИНПД _{2Вт/кг} , уд./с / $IPDA_{2W/kg}$, beat/s	1,33 ± 0,56	< 1,0	1,0–1,7	1,7 >
Мальчики/ Boys				
V_{max} , м/с / V_{max} , m/s	6,95 ± 0,76	< 6,44	6,44–7,46	7,46 >
V_{40} , м/с / V_{40} , m/s	4,64 ± 0,59	< 4,24	4,24–5,04	5,04 >
V_{240} , м/с / V_{240} , m/s	3,82 ± 0,67	< 3,37	3,37–4,27	4,27 >
V_{900} , м/с / V_{900} , m/s	3,35 ± 0,68	< 2,89	2,89–3,81	3,81 >
Lns , отн. ед. / Lns , rel. un.	40,9 ± 12,5	< 32,5	32,5–49,3	49,3 >
Коэф. а, отн. ед. / a coef., rel. un.	8,27 ± 3,22	< 6,1	6,1–10,4	10,4 >
Коэф. b, отн. ед. / b coef., rel. un.	14,01 ± 4,93	< 10,7	10,7–17,3	17,3 >
VO_{2max} , мл/мин·кг / VO_{2max} , ml/min·kg	58,7 ± 7,4	< 54	54–64	64 >
PWC_{170} , кгм/мин·кг / PWC_{170} , kgm/min·kg	14,2 ± 3,1	< 12,1	12,1–16,3	16,3 >
ИНПД _{2Вт/кг} , уд./с / $IPDA_{2W/kg}$, beat/s	1,12 ± 0,48	< 0,8	0,8–1,4	1,4 >

Физиология

тельной подготовленности и физического развития. Существенные различия ($p < 0,05-0,001$) обнаружены и у мальчиков, вошедших в состав разных кластеров. Дети, включенные в различные кластеры, отличались не только количественно, но и качественно (табл. 2, 3).

Аэробный тип (кластер I). В этот кластер вошли девочки, отличающиеся высокими показателями аэробной производительности организма, средними и высокими показателями анаэробной системы энергетического обеспечения мышечной деятельности.

Для них характерны сочетания высоких уровней развития ёмкости и мощности аэробного источника, мощности анаэробно-гликолитического источника, интегральной работоспособности и работоспособности в зоне смешанного энергообеспечения, общей выносливости, быстроты, скоростно-силовых качеств, со средними и, в меньшей степени,

низкими результатами всех других показателей двигательной подготовленности и параметров физического развития. Отмечается относительно равномерная встречаемость лептосомного и эурисомного телосложения.

Смешанный тип (кластер II). Во втором кластере объединились девочки со средним и низким уровнем и равномерно-пропорциональным развитием всех параметров энергообеспечения. Вторая группа характеризовалась близкими к средним значениям величинами большинства рассматриваемых показателей мышечной энергетике и работоспособности, двигательной подготовленности и физического развития. Исключение составляют низкие показатели максимальной анаэробной мощности, ловкости, скоростно-силовых качеств и ЖЕЛ.

Фосфатный тип (кластер III). В этот кластер вошли школьницы с высокой макси-

Таблица 2
Table 2

Кластерная структура физического состояния девочек 9–10 лет с разными типами мышечной энергетике
The cluster structure of physical state in 9–10 year-old girls with different types of muscle energy

Показатели / Parameters	Кластеры / Clusters			
	I (n = 42)	II (n = 26)	III (n = 63)	IV (n = 69)
V _{max} , м/с / V _{max} , m/s				
V ₄₀ , м/с / V ₄₀ , m/s				
V ₂₄₀ , м/с / V ₂₄₀ , m/s				
V ₉₀₀ , м/с / V ₉₀₀ , m/s				
Lns, отн. ед. / Lns, rel. un.				
Коэф. а, отн. ед. / a coef., rel. un.				
Коэф. б, отн. ед. / b coef., rel. un.				
VO _{2max} , мл/мин / VO _{2max} , ml/min				
VO _{2max} , мл/мин·кг / VO _{2max} , ml/min·kg				
PWC ₁₇₀ , кгм/мин / PWC ₁₇₀ , kgm/min				
PWC ₁₇₀ , кгм/мин·кг / PWC ₁₇₀ , kgm/min·kg				
МС, кг / MS, kg				
Бег 30 м, с / 30-m run, s				
Бег 60 м, с / 60-m run, s				
6-мин бег, м / 6-min run, m				
Челночный бег, с / Shuttle run, s				
Прыжок в длину, см / Standing long jump, cm				
Наклон вперед, см / Forward lean, cm				
Подн. туловища, раз / Sit-up test, times				
Длина тела, см / Body length, cm				
Масса тела, кг / Body weight kg				
ЖЕЛ, мл / LC, ml				
Соматотип, отн. ед. / Somatotype, rel. un.				




Примечание.  – значения, близкие к низкому / values are close to low,  – среднему / average,  – высокому уровню физического состояния / high physical state.

Таблица 3
Table 3

Кластерная структура физического состояния мальчиков 9–10 лет с разными типами мышечной энергетики
The cluster structure of physical state in 9–10 year-old boys with different types of muscle energy

Показатели / Parameters	Кластеры / Clusters			
	I (n = 65)	II (n = 42)	III (n = 21)	IV (n = 37)
V _{мах} , м/с / V _{мах} , m/s	■	■	■	■
V ₄₀ , м/с / V ₄₀ , m/s	■	■	■	■
V ₂₄₀ , м/с / V ₂₄₀ , m/s	■	■	■	■
V ₉₀₀ , м/с / V ₉₀₀ , m/s	■	■	■	■
Lns, отн. ед. / Lns, rel. un.	■	■	■	■
Кэф. а, отн. ед. / a coef., rel. un.	■	■	■	■
Кэф. b, отн. ед. / b coef., rel. un.	■	■	■	■
ИНПД, уд./с / IPDA, beat/s	■	■	■	■
VO _{2мах} , мл/мин / VO _{2мах} , ml/min	■	■	■	■
VO _{2мах} , мл/мин·кг / VO _{2мах} , ml/min·kg	■	■	■	■
PWC ₁₇₀ , кгм/мин / PWC ₁₇₀ , kgm/min	■	■	■	■
PWC ₁₇₀ , кгм/мин·кг / PWC ₁₇₀ , kgm/min·kg	■	■	■	■
МС, кг / MS, kg	■	■	■	■
Бег 30 м, с / 30-m run, s	■	■	■	■
Бег 60 м, с / 60-m run, s	■	■	■	■
6-мин бег, м / 6-min run, m	■	■	■	■
Челночный бег, с / Shuttle run, s	■	■	■	■
Прыжок в длину, см / Standing long jump, cm	■	■	■	■
Наклон вперед, см / Forward lean, cm	■	■	■	■
Подн. туловища, раз / Sit-up test, times	■	■	■	■
Длина тела, см / Body length, cm	■	■	■	■
Масса тела, кг / Body weight kg	■	■	■	■
ЖЕЛ, мл / LC, ml	■	■	■	■
Соматотип, отн. ед. / Somatotype, rel. un.	■	■	■	■

Примечание. ■ – значения, близкие к низкому / values are close to low, ■ – среднему / average, ■ – высокому уровню физического состояния / high physical state.

мальной анаэробной мощностью. Для них характерны низкие уровни мощности аэробного и анаэробного гликолитического источников, аэробной ёмкости, интегральной работоспособности, большинства показателей двигательной подготовленности. Следует отметить, что испытуемые этой группы отличались высокими значениями абсолютных и низкими значениями относительных показателей МПК и PWC₁₇₀, а также высоким уровнем физического развития. Отмечались большая встречаемость эуризомного телосложения, особенно дигестивного.

Анаэробный тип (кластер IV). У девочек, отнесенных к четвертому кластеру, наблюдались наилучшие показатели анаэробной производительности организма. Четвертая группа характеризовалась комбинацией высоких значений мощности анаэробно-гликолитического

и фосфагенного источников со средними показателями аэробных возможностей организма. Девочки этой группы демонстрировали высокий уровень быстроты, скоростно-силовых качеств, силовой выносливости, гибкости и ЖЕЛ в сочетании со средним уровнем работоспособности, общей выносливости, силы и показателя длины тела. Отмечались относительно низкая масса тела и большая встречаемость лептосомной конституции.

Характеристика вариантов (типов) организации энергообеспечения мышечной деятельности у мальчиков 9–10 лет (см. табл. 3).

Аэробный тип (кластер I). У мальчиков, отнесенных к данному кластеру, наблюдались повышенные показатели аэробной производительности организма. Для них характерны сочетание высоких уровней развития ёмкости и мощности аэробного источника, интеграль-

ной работоспособности и работоспособности в зоне смешанного энергообеспечения, общей и силовой выносливости со средними и низкими результатами других показателей. Отмечалась преимущественная встречаемость лептосомных типов телосложения.

Смешанный тип (кластер II). В состав этого кластера включены мальчики, отличающиеся равномерно-пропорциональным уровнем развития аэробного и анаэробных механизмов энергообеспечения. Эта группа школьников характеризуется средними и низкими значениями большинства показателей мышечной энергетики и работоспособности, двигательной подготовленности и физического развития на фоне высоких показателей гибкости и координационных способностей.

Универсальный тип (кластер III). В этот кластер выделились мальчики, отличающиеся высокими показателями аэробной и анаэробной производительности организма. Для них характерны сочетания высоких уровней ёмкости и мощности аэробного источника, мощности анаэробно-гликолитического источника, работоспособности в зоне смешанного энергообеспечения, общей и силовой выносливости, быстроты, скоростно-силовых качеств, координационных способностей со средними результатами по оставшимся показателям физического состояния. Отмечается равномерная встречаемость лептосомных и эурисомных типов конституции.

Анаэробный тип (кластер IV). У мальчиков, отнесенных к четвертому кластеру, наблюдались наиболее высокие показатели анаэробной производительности организма. Данная группа, характеризовалась комбинацией повышенных значений показателей мощности анаэробного гликолитического и фосфагенного источников со средними и низкими показателями аэробных возможностей организма. Мальчики, вошедшие в этот кластер, проявляли высокий уровень развития силы, быстроты, скоростно-силовых качеств, гибкости в сочетании со средним уровнем работоспособности, выносливости и координационных способностей. Школьники этой группы отличались высокими значениями абсолютных и низкими значениями относительных показателей МПК и PWC_{170} , высоким уровнем физического развития и преобладанием эурисомных типов телосложения.

В исследовании обнаружена неоднородность организации энергетического метабо-

лизма у детей 9–10 лет. В ряде работ также установлена специфика энергетического метаболизма у лиц одного возраста и пола, характеризующаяся наличием нескольких типов индивидуальной организации энергообеспечения мышечной деятельности. Предполагается, что преобладание анаэробной или аэробной энергетики у ребенка определяется составом мышечных волокон, особенностями функционирования ферментативных систем, системы центральной регуляции физиологических функций и кислородтранспортной системы, обеспечивающей мышцы кислородом и субстратами [2, 5, 8, 9, 12, 14]. В настоящее время в зависимости от индивидуальной организации энергетики скелетных мышц у детей выделяют несколько профилей (от 3 до 6) энергообеспечения с преобладанием аэробной, смешанной, анаэробной гликолитической или анаэробной алактатной энергетической систем [2–4].

Обнаруженные в нашем исследовании различия между мальчиками и девочками в структуре выделенных кластеров, вероятно, отражают особенности организации систем энергетического обеспечения мышечной деятельности, обусловленные половой принадлежностью детей. Данное заключение согласуется с имеющимися сведениями о половой специфичности организации энергетического метаболизма [5, 12, 13], изменений сократительных свойств скелетных мышц [5, 14], становления систем гормональной и вегетативной [6, 11] регуляции функций в рассматриваемый возрастной период. Половой диморфизм в этом возрасте проявляется и в том, что мальчики отстают от девочек по темпу процессов роста и развития организма [1, 6, 10], но существенно превосходят их по эффективности функционирования кислородтранспортной системы [13], уровню физической работоспособности и подготовленности [3, 7, 13]. В настоящем исследовании выявлена связь между типом энергообеспечения мышечной деятельности и телосложением. Эти результаты хорошо согласуются с имеющимися данными. Известно, что представители разных типов энергообеспечения характеризуются особенностями физического развития. В целом эти особенности сводятся к тому, что дети брахиморфного телосложения характеризуются высокой анаэробной работоспособностью, тогда как их сверстники с лептоморфным телосложением – аэробной [2, 5].

Выделенные «типы» энергообеспечения скелетных мышц у детей 9–10 лет не являются устойчивыми характеристиками, их необходимо рассматривать как промежуточные конституциональные варианты, являющиеся следствием незавершенности формирования конституционного статуса.

Выводы

1. Энергетическое обеспечение скелетных мышц у детей 9–10 лет неоднородно. На основе кластерного анализа выявлено несколько вариантов организации энергетического метаболизма, характеризующихся типичными сочетаниями уровней развития аэробных, анаэробных гликолитических и анаэробных алактатных возможностей организма с уровнями мышечной работоспособности, двигательной подготовленности и физического развития.

2. У мальчиков и девочек 9–10 лет выявлены по 4 варианта организации энергетического обеспечения скелетных мышц, характеризующихся выраженной половой специфичностью.

3. Установлено, что среди мальчиков и девочек с преобладанием аэробного метаболизма высока встречаемость детей с высоким уровнем общей и силовой выносливости, а с преобладанием анаэробного метаболизма – с высоким уровнем скоростных, силовых и скоростно-силовых способностей.

4. Выявлено, что среди мальчиков и девочек с преобладанием аэробного метаболизма высока встречаемость лептосомных типов телосложения, а с преобладанием анаэробного метаболизма – эурисомных типов телосложения.

5. Выделенные варианты организации энергообеспечения скелетных мышц необходимо учитывать в процессе проведения занятий по физическому воспитанию, оздоровительной и спортивной тренировки.

Данные об особенностях энергетики мышечной деятельности девочек получены в рамках диссертационного исследования Д.В. Мельникова. Данные об особенностях энергетики мышечной деятельности мальчиков получены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-013-00115).

Литература

1. Биология человека / Дж. Харрисон [и др.]. – М.: Мир, 1979. – 611 с.

2. Индивидуальные особенности соматотипа и энергетика скелетных мышц у девочек в возрасте 7–11 лет / И.А. Корниенко, Р.В. Тамбовцева, Т.В. Панасюк, В.Д. Сонькин // Физиология человека. – 2000. – Т. 26, № 2. – С. 87–92.

3. Криволапчук, И.А. Кластерная структура физической работоспособности и двигательной подготовленности школьников 7–8 лет / И.А. Криволапчук, М.Б. Чернова, В.В. Мышьяков // Ученые записки ун-та им. П.Ф. Лесгафта. – 2017. – № 7 (149). – С. 123–133.

4. Марчик, Л.А. Варианты индивидуальной организации энергетики скелетных мышц мальчиков 7–8 лет / Л.А. Марчик, Л.Л. Катамылов // Тез. докл. Всерос. науч. конф. по проблеме физ. воспитания детей школьного и дошкольного возраста. – Волгоград, 1994. – С. 57–58.

5. Сонькин, В.Д. Развитие мышечной энергетики и работоспособности в онтогенезе / В.Д. Сонькин, Р.В. Тамбовцева. – М.: Кн. дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 368 с.

6. Физиология развития ребенка: рук. по возрастной физиологии / под ред. М.М. Безруких, Д.А. Фарбер. – М.: Изд-во Моск. психол.-соц. ин-та, 2010. – 768 с.

7. Aerobic Function and Muscle Deoxygenation Dynamics during Ramp Exercise in Children / M.A. McNarry, C. Farr, A. Middlebrooke et al. // Med Sci Sports Exerc. – 2015. – Vol. 47 (9). – P. 1877–1884.

8. Anaerobic and aerobic enzyme activities in human skeletal muscle from children and adults / J.J. Kaczor, W. Ziolkowski, J. Popinigis, M.A. Tarnopolsky // Pediatr Res. – 2005. – Vol. 57, No. 3. – P. 331–335.

9. Armstrong, N. Muscle metabolism changes with age and maturation: How do they relate to youth sport performance? / N. Armstrong, A.R. Barker, A.M. McManus // Br J Sports Med. – 2015. – Vol. 49, No. 13. – P. 860–864.

10. Gender's Effect on a School-Based Intervention in The Prepubertal Growth Spurt / C. Marta, D. Marinho, N. Casanova et al. // J Hum Kinet. – 2014 – Vol. 43. – P. 159–167.

11. Guilkey, J.P. Heart rate recovery and parasympathetic modulation in boys and girls following maximal and submaximal exercise / J.P. Guilkey, M. Overstreet, A.D. Mahon // Eur J Appl Physiol. – 2015. – Vol. 115 (10). – P. 2125–2133.

12. *Quadriceps muscle energetics during incremental exercise in children and adults* / A.R. Barker, J.R. Welsman, J. Fulford et al. // *Med Sci Sports Exerc.* – 2010. – Vol. 42 (7). – P. 1303–1313.

13. *Sex difference in peak oxygen uptake in prepubertal children* / R.J. Winsley, J. Fulford,

A.C. Roberts et al. // *J Sci Med Sport.* – 2009. – Vol. 12 (6). – P. 647–651.

14. *Tensiomyographic Assessment of Muscle Contractile Properties in 9- to 14-Year Old Children* / B. Simunic, H. Degens, J. Završnik et al. // *Int J Sports Med.* – 2017. – Vol. 38 (9). – P. 659–665.

Криволапчук Игорь Альерович, доктор биологических наук, заведующий лабораторией физиологии мышечной деятельности и физического воспитания, Институт возрастной физиологии Российской академии образования. 119121, г. Москва, ул. Погодинская, 8-2; профессор кафедры физической культуры, Государственный университет управления. 109542, г. Москва, Рязанский проспект, 99; профессор кафедры физической культуры и здоровья, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». 119049, г. Москва, Ленинский проспект, 4. E-mail: i.krivolapchuk@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8628-6924.

Мельников Дмитрий Васильевич, научный сотрудник лаборатории физиологии мышечной деятельности и физического воспитания, Институт возрастной физиологии Российской академии образования. 119121, г. Москва, ул. Погодинская, 8-2. E-mail: melnikov_dmitriy86@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8857-2614.

Чернова Мария Борисовна, кандидат педагогических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии мышечной деятельности и физического воспитания, Институт возрастной физиологии Российской академии образования. 119121, г. Москва, ул. Погодинская, 8-2. E-mail: mashacernova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1253-9842.

Васильева Римма Михайловна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии мышечной деятельности и физического воспитания, Институт возрастной физиологии Российской академии образования. 119121, г. Москва, ул. Погодинская, 8-2. E-mail: w.rm@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-9298-6505.

Поступила в редакцию 12 декабря 2020 г.

DOI: 10.14529/hsm210102

TYPOLOGICAL FEATURES OF ENERGY SUPPLY OF MUSCLE ACTIVITY IN 9-10 YEAR-OLD CHILDREN

I.A. Krivolapchuk^{1,2,3}, i.krivolapchuk@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8628-6924,

D.V. Melnikov¹, melnikov_dmitriy86@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8857-2614,

M.B. Chernova¹, mashacernova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1253-9842,

R.M. Vasilieva¹, w.rm@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-9298-6505

¹Institute of Developmental Physiology, Russian Academy of Education, Moscow, Russian Federation,

²State University of Management, Moscow, Russian Federation,

³National Research Technological University “MISIS”, Moscow, Russian Federation

Aim. The purpose of the study is to identify typological features of energy supply of muscle activity in 9–10 year-old children by means of cluster analysis. **Materials and methods.**

The study involved apparently healthy girls (n = 201) and boys (n = 176) ages 9–10 years. A set of indicators of energy supply, physical performance, physical fitness and physical development

was used for the study, as well as body types were determined. **Results.** Analysis of differences between groups showed that 9–10 year-old boys demonstrated higher values ($p < 0.05$ – 0.001) of energy supply and physical performance than girls. Four options for energy metabolism were revealed characterized by typical combinations of aerobic, anaerobic glycolytic and anaerobic alactate capabilities with physical performance, physical fitness and physical development. It was found that among children with aerobic metabolism, children with high endurance and leptosomic type were often found. Children with anaerobic metabolism were often characterized by high speed, strength, speed and strength abilities and eurysonic type. **Conclusion.** The selected options of energy supply must be taken into account in physical education, health and sports training for 9–10 year-old children.

Keywords: type of energy supply, physical performance, physical fitness, physical development.

References

1. Kharrison Dzh. Et al. *Biologiya cheloveka* [Human Biology]. Moscow, World Publ., 1979. 611 p.
2. Korniyenko I.A., Tambovtseva R.V., Panasyuk T.V., Son'kin V.D. [Individual Features of the Somatotype and Energy of Skeletal Muscles in Girls Aged 7–11 Years]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2000, vol. 26, no. 2, pp. 87–92. (in Russ.) DOI: 10.1007/BF02760092
3. Krivolapchuk I.A., Chernova M.B., Mysh'yakov V.V. [Cluster Structure of Physical Performance and Motor Fitness of Schoolchildren 7–8 Years Old]. *Uchenyye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta* [Scientific notes of the P.F. Lesgaft], 2017, no. 7 (149), pp. 123–133. (in Russ.)
4. Marchik L.A., Katalymov L.L. [Variants of the Individual Organization of the Energy of Skeletal Muscles in Boys 7–8 Years Old]. *Tezisy doklady Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii po probleme fizicheskogo vospitaniya detey shkol'nogo i doshkol'nogo vozrasta* [Abstracts of the All-Russian Scientific Conference on the Problem of Physical Education of School and Preschool Children], 1994, pp. 57–58. (in Russ.)
5. Son'kin V.D., Tambovtseva R.V. *Razvitiye myshechnoy energetiki i rabotosposobnosti v ontogeneze* [Development of Muscle Energy and Performance in Ontogenesis]. Moscow, LIBROKOM Publ., 2011. 368 p.
6. Bezrukikh M.M., Farber D.A. *Fiziologiya razvitiya rebenka: Rukovodstvo po vozrastnoy fiziologii* [Physiology of Child Development]. Moscow, Moscow Psychological and Social Institute Publ., 2010. 768 p.
7. McNarry M.A., Farr C., Middlebrooke A. et al. Aerobic Function and Muscle Deoxygenation Dynamics during Ramp Exercise in Children. *Med Sci Sports Exerc.*, 2015, vol. 47 (9), pp. 1877–1884. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000609
8. Kaczor J.J., Ziolkowski W., Popinigis J., Tarnopolsky M.A. Anaerobic and Aerobic Enzyme Activities in Human Skeletal Muscle from Children and Adults. *Pediatr Res*, 2005, vol. 57, no. 3, pp. 331–335. DOI: 10.1203/01.PDR.0000150799.77094.DE
9. Armstrong N., Barker A.R., McManus A.M. Muscle Metabolism Changes with Age and Maturation: How do they Relate to Youth Sport Performance? *Br J Sports Med.*, 2015, vol. 49, no. 13, pp. 860–864. DOI: 10.1136/bjsports-2014-094491
10. Marta C., Marinho D., Casanova N. et al. Gender's Effect on a School-Based Intervention in The Prepubertal Growth Spurt. *J Hum Kinet*, 2014, vol. 43, pp. 159–167. DOI: 10.2478/hukin-2014-0101
11. Guilkey J.P., Overstreet M., Mahon A.D. Heart Rate Recovery and Parasympathetic Modulation in Boys and Girls Following Maximal and Submaximal Exercise. *Eur J Appl Physiol.*, 2015, vol. 115 (10), pp. 2125–2133. DOI: 10.1007/s00421-015-3192-y
12. Barker A.R., Welsman J.R., Fulford J. et al. Quadriceps Muscle Energetics During Incremental Exercise in Children and Adults. *Med Sci Sports Exerc.*, 2010, vol. 42 (7), pp. 1303–1313. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3181cabaeb

13. Winsley R.J., Fulford J., Roberts A.C. et al. Sex Difference in Peak Oxygen Uptake in Prepubertal Children. *J Sci Med Sport.*, 2009, vol. 12 (6), pp. 647–651. DOI: 10.1016/j.jsams.2008.05.006
14. Simunic B., Degens H., Završnik J. et al. Tensiomyographic Assessment of Muscle Contractile Properties in 9- to 14-Year Old Children. *Int J Sports Med.*, 2017, vol. 38 (9), pp. 659–665. DOI: 10.1055/s-0043-110679

Received 12 December 2020

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Типологические особенности энергетического обеспечения мышечной деятельности девочек и мальчиков 9–10 лет / И.А. Криволапчук, Д.В. Мельников, М.Б. Чернова, Р.М. Васильева // Человек. Спорт. Медицина. – 2021. – Т. 21, № 1. – С. 14–22. DOI: 10.14529/hsm210102

FOR CITATION

Krivolapchuk I.A., Melnikov D.V., Chernova M.B., Vasilieva R.M. Typological Features of Energy Supply of Muscle Activity in 9–10 Year-Old Children. *Human. Sport. Medicine*, 2021, vol. 21, no. 1, pp. 14–22. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm210102