

- сеенко М.С. Исследование эффективности средств индивидуальной и коллективной защиты от шума на основе оценки потенциальной ненадежности профессиональной деятельности авиационных специалистов. *Безопасность жизнедеятельности*. 2010; (11): 2–6.
19. Альтман Я.А., Таварткиладзе Г.А. *Руководство по аудиологии*. М.: ДМК Пресс; 2003.
1. Soldatov S.K., Bogomolov A.V., Zinkin V.N., Dragan S.P. Problems of acoustic safety of the aviation industry personnel. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2014; (10): 58–60. (in Russian)
2. Denisov Ye.I., Prokopenko L.V., Stepanyan I.V., Chesalin P.V. Volume and harmful noise: phenomenology, measurement and evaluation. *Gigiena i sanitariya*. 2009; 88(5): 26–9. (in Russian)
3. Zinkin V.N., Soldatov S.K., Bogomolov A.V., Dragan S.P. Actual problems of protection of the population from the low-frequency noise and infrasound. *Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti*. 2015; 12 (1): 90–6. (in Russian)
4. Zinkin V.N., Soldatov S.K., Shishov A.A., Radchenko S.N., Sheshegov P.M. Health status and morbidity of people at the cumulative effects of aircraft noise. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya*. 2014; (3): 12–4. (in Russian)
5. Zinkin V.N., Sheshegov P.M., Chistov S.D. The influence of industrial noise and infrasound in the incidence and the system of preventive measures. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2015; (5): 3–12. (in Russian)
6. Savel'ev A.P., P'yanzov S.V., Skvortsov A.N. Acoustic design collective protection against industrial noise. *Al'manakh mirovoy nauki*. 2015; (2-1): 142–3. (in Russian)
7. Tyurin A.P., Parakhin D.V., Sevast'yanov B.V. Scientific substantiation of perfection of means of collective protection weapons test by the impact of impulse noise. *Vestnik IzhGTU im. M.T. Kalashnikova*. 2008; (3): 25–8. (in Russian)
8. Dragan S.P., Zinkin V.N., Bogomolov A.V., Soldatov S.K., Drozdov S.V. The acoustic efficiency of the means of protection against noise. *Meditsinskaya tekhnika*. 2013; (3): 34–6. (in Russian)
9. Soldatov S.K., Dragan S.P., Kharitonov V.V., Vasin I.V., Drozdov S.V. Characteristic acoustic efficiency promising means of collective protection engineering staff of aircraft noise. *Problemy bezopasnosti poletov*. 2014; (11): 3–12. (in Russian)
10. Bogomolov A.V., Dragan S.P. Automated monitoring and acoustic technology providing security personnel. *Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii*. 2015; (4): 25–30. (in Russian)
11. Kharitonov V.V., Abramov S.P., Zinkin V.N., Soldatov S.K. Ergonomic examination of new models of means of collective protection from aircraft noise. *Problemy bezopasnosti poletov*. 2014; (9): 20–6. (in Russian)
12. Kartyshchev O.A. Application of collective protection from noise to improve working conditions in the workplace technical staff of airlines. *Nauchnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoy aviatsii*. 2011; 173: 154–60. (in Russian)
13. Zot'ev D.B. On the problem of determining the weighting factors based on expert assessments. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov*. 2011; (1): 75–8. (in Russian)
14. Karelin V.P., Protasov V.I. Kvalimetric approach to the formation of expert groups and the definition of their competencies in the organization of collective intelligence. *Vestnik Taganrogskogo instituta upravleniya i ekonomiki*. 2012; (2): 46–50. (in Russian)
15. Shibanov G.P. The procedure for the formation of expert groups and of collective expertise. *Informatsionnye tekhnologii*. 2003; (12): 26–9. (in Russian)
16. Grigor'ev A.V., Kozin P.A. Method for determining the weighting values when negotiating evaluation. *Auditorskie vedomosti*. 2007; (2): 63–70. (in Russian)
17. Bukharin S.N., Gukasov V.M., Shkrabalyuk A.K., Bannova I.V. Some methods of forming a group of experts and to assess their competence in medical practice. *Meditsina i vysokie tekhnologii*. 2012; (2): 35–41. (in Russian)
18. Zinkin V.N., Kukushkin Yu.A., Bogomolov A.V., Soldatov S.K., Alekseenko M.S. Investigation of the effectiveness of individual and collective protection from noise based on an assessment of the potential unreliability of the professional activities of aviation professionals. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2010; (11): 2–6. (in Russian)
19. Al'tman Ya.A., Tavartkiladze G.A. *Audiology: Guide [Rukovodstvo po audiologii]*. Moscow: DMK Press; 2003. (in Russian)

Поступила 04.05.16

Принята к печати 16.01.17

## Гигиена детей и подростков

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

УДК 613.95:572.51

Криволапчук И.А.<sup>1</sup>, Мышьяков В.В.<sup>2</sup>

### ОСОБЕННОСТИ ФАКТОРНОЙ СТРУКТУРЫ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МАЛЬЧИКОВ И ДЕВОЧЕК 9–10 ЛЕТ

<sup>1</sup>ФГБНУ «Институт возрастной физиологии Российской академии образования», 119121, г. Москва, Россия;<sup>2</sup>УО «Гродненский государственный университет им. Янки Купалы», 230023, г. Гродно, Беларусь

В исследовании приняли участие дети, отнесённые по состоянию здоровья к основной медицинской группе ( $n = 91$ ). Средний возраст мальчиков составил  $9,60 \pm 0,05$  года, девочек –  $9,50 \pm 0,05$  года. Организация исследования соответствовала требованиям Хельсинкской декларации ВМА. Испытуемые были практически здоровы, занимались физической культурой по общепринятой программе и не посещали спортивные секции. В работе использован комплекс методик, пригодных для исследования физической работоспособности детей школьного возраста в широком диапазоне доступных нагрузок. В ходе исследования выделены 5 основных факторов, определяющих структуру физической работоспособности детей 9–10 лет. Показано, что у мальчиков и девочек на фоне сохранения общей структуры работоспособности по-разному распределены вклады рассматриваемых факторов в обобщённую дисперсию выборки, а также физиологические показатели, входящие в состав отдельных факторов, и их весовые коэффициенты. Установлено, что мальчики 9–10 лет существенно превосходят девочек по уровню физической работоспособности во всём диапазоне доступных нагрузок. При этом наибольшее количество значимых различий выявлено в переменных, характеризующих работоспособность в зонах умеренной и большой мощности, связанных преимущественно с аэробным и смешанным аэробно-анаэробным энергообеспечением мышечной деятельности. Показатели аэробной ёмкости характеризуются наибольшими межгрупповыми различиями по сравнению с другими энергетическими критериями работоспособности. Результаты исследования могут быть использованы при решении прикладных задач по гигиеническому нормированию и контролю величины физических нагрузок различной относительной мощности в процессе физического воспитания мальчиков и девочек 9–10 лет.

Ключевые слова: аэробная и анаэробная производительность; зоны относительной мощности; факторный анализ; половые особенности.

**Для цитирования:** Криволапчук И.А., Мышьяков В.В. Особенности факторной структуры физической работоспособности мальчиков и девочек 9–10 лет. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(8): 759–765. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-8-759-765>

**Для корреспонденции:** Криволапчук Игорь Альерович, д-р биол. наук, рук. лаб. физиологии мышечной деятельности и физического воспитания ФГБНУ «Институт возрастной физиологии Российской академии образования». E-mail: [i.krivolapchuk@mail.ru](mailto:i.krivolapchuk@mail.ru)

Krivolapchuk I. A.<sup>1</sup>, Myshyakov V.V.<sup>2</sup>

## PECULIARITIES OF THE FACTOR STRUCTURE OF PHYSICAL WORKING CAPACITY IN BOYS AND GIRLS AGED OF 9-10 YEARS

<sup>1</sup>Institute of Developmental Physiology, Moscow, 119121, Russian Federation;<sup>2</sup>Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, 230023, Belarus

The study included children referred by their state of health to the main medical group ( $n=91$ ). The average age of boys amounted to  $9.6\pm 0.05$  years, and of girls -  $9.5\pm 0.05$  years. The set of methods suitable for the study of school-aged children's physical working capability at the wide range of accessible tensions was studied. The arrangement of the study met demands of Helsinki declaration. During the study 5 main factors determining physical working capacity structure in 9-10 aged children under the vast range of accessible tensions were found out. All the children were certainly health, went in for physical exercises according to commonly accepted program and did not attend sport sections. In the work there was used the complex of methods suitable for the study of the physical performance of schoolchildren in the large range of available loads. During the study there were selected 5 main factors determining the structure of the physical performance of children aged of 9-10 years. It is shown that boys' and girls' against background of the preservation of the common structure of the performance contributions of considered factors to the summarized dispersion of the sample, and physiological indices included in to the pattern of specific factors and their weight coefficients are distributed in various ways. Boys aged of 9-10 years were established to exceed girls by physical working capacity in all ranges of available loads. Meanwhile the greatest number of significant differences was identified concerning the variables characterizing working capacity in the moderate and high power relating with mainly aerobic and mixed aerobic-anaerobic power supply of muscular activity. Indices of aerobic capacity are characterized with the most differential "sensitivity" in comparison with other energy criteria of the working capacity. The results of the study can be used in the solution of practical tasks according to hygienic rating and control of the value of physical loads of different relative power during the process of physical education of children aged of 9-10 years.

**Key words:** aerobic and anaerobic efficiency; relative power zones; factorial analysis; sexual peculiarities.

**For citation:** Krivolapchuk I.A., Myshyakov V.V. Peculiarities of the factor structure of physical working capacity in boys and girls aged of 9-10 years. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2017; 96(8): 759-765. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-8-759-765>

**For correspondence:** Igor A. Krivolapchuk, MD, PhD, DSci. Biol., Head of the laboratory of Physiology of muscle activity and physical education, Institute of Developmental Physiology, Moscow, 119121, Russian Federation. E-mail: [i.krivolapchuk@mail.ru](mailto:i.krivolapchuk@mail.ru)

**Information about authors:**Krivolapchuk I.A. <http://orcid.org/0000-0001-8628-6924>; Myshyakov V.V. <http://orcid.org/0000-0002-1555-4853>

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgement.** The work was supported by the Russian Humanitarian Scientific Foundation (grant no. 16-06-00211a).

Received: 19.09.16

Accepted: 16.01.17

## Введение

Наблюдаемая в последние десятилетия тенденция снижения двигательной активности и ухудшения физического состояния детей делает актуальными исследования, направленные на выявление особенностей физической работоспособности современных школьников на различных этапах возрастного развития [1–7]. Уровень физической работоспособности является важным количественным критерием здоровья человека, позволяющим судить о его адаптационных возможностях, результатах подготовки к трудовой, спортивной и военной деятельности [2, 8, 9]. Поскольку работоспособность является интегральной характеристикой, отражающей совокупность рабочих возможностей организма, её нельзя измерить с помощью какого-либо одного теста. С позиций мышечной энергетики результаты выполнения отдельных функциональных проб дают лишь ограниченную информацию либо о мощности, либо о ёмкости, либо об эффективности каждого из источников энергообеспечения и поэтому не позволяют судить о работоспособности во всём диапазоне доступных физических нагрузок [9, 10]. Важно подчеркнуть, что и сами эти биоэнергетические критерии могут быть представлены большим числом физиологических и биохимических переменных. Поэтому для диагностики разных сторон физической работоспособности целесообразно применять комплекс тестов, позволяющий оценить мощность, ёмкость и эффективность аэробного и анаэробных источников энергообеспечения [9].

В ходе онтогенеза работоспособность меняется не только количественно, но и качественно [8, 9, 11]. Это находит отражение в трансформации состава факторов, определяющих величину произведённой физической работы, изменении соотношений различных зон мощности и характера энергообеспечения мышечной деятельности одинаковой относительной мощности [11–15]. Многочисленные исследования детей препубертатного

возраста, выполненные ранее, базировались главным образом на основе раздельного изучения показателей мощности, ёмкости и эффективности, характеризующих либо аэробные [16–20], либо анаэробные возможности организма [12, 21–23], в то время как сведения об особенностях их работоспособности во всём диапазоне доступных нагрузок единичны [9, 24–26]. Несмотря на богатый опыт изучения рассматриваемой проблемы в онтогенетическом аспекте, существует дефицит эмпирических данных относительно структуры и половых особенностей физической работоспособности школьников в препубертатный период. Всё это значительно ограничивает возможности гигиенического нормирования физических нагрузок, обоснования рациональных соотношений упражнений различной метаболической направленности и разработку оптимальных двигательных режимов, способствующих укреплению здоровья и достижению высокого уровня физической работоспособности детей.

Цель исследования – выявить особенности физической работоспособности детей 9–10 лет в зависимости от пола на основе анализа её факторной структуры.

## Материал и методы

В исследовании приняли участие дети, отнесённые по состоянию здоровья к основной медицинской группе ( $n = 91$ ). Средний возраст мальчиков ( $n = 44$ ) составил  $9,60 \pm 0,05$  года, девочек ( $n = 47$ ) –  $9,50 \pm 0,05$  года. Организация исследования соответствовала требованиям Хельсинкской декларации ВМА (1964 г.). Испытуемые были практически здоровы, занимались физической культурой по общепринятой программе и не посещали спортивные секции.

Оценка физического развития проводилась на основе расчёта индекса массы тела по международным нормативам, разработанным Всемирной организацией здравоохранения. У по-

давяющего числа детей физическое развитие соответствовало среднему уровню. Удельный вес мальчиков и девочек со средним («нормальным») физическим развитием составил 81,8 и 72,3%, с дефицитом массы тела – 11,4 и 19,2%, с избытком массы тела – 6,8 и 8,5% соответственно.

Тестирование проводили в хорошо проветриваемом помещении при температуре воздуха 18–24 °С, в первой половине дня, спустя несколько часов после приёма пищи. В помещении, где проводилось нагрузочное тестирование, были обеспечены условия для оказания неотложной и первой медицинской помощи.

В работе использован комплекс методик, пригодных для исследования физической работоспособности детей школьного возраста в широком диапазоне доступных нагрузок. Он включал тесты, позволяющие оценить возможности анаэробного алактатного, анаэробного гликолитического и аэробного механизмов энергообеспечения. Определяли интенсивность накопления пульсового долга (ИНПД) [9], мощность нагрузки при пульсе 170 уд/мин ( $PWC_{170}$ ), ватт-пульс (ВтП), максимальное потребление кислорода ( $VO_{2max}$ ) [16], максимальную силу (МС) и предельное время работы ( $t_1, t_2$ ) при выполнении «до отказа» нагрузок большой (2 Вт/кг) и субмаксимальной (4 Вт/кг) мощности на велоэргометре [26]. По данным выполнения работы «до отказа» на основе уравнения Müller определялись величины мощности нагрузок, максимальное время реализации которых составляло 1 (W1), 40 (W40), 240 (W240), 900 с (W900), коэффициенты, отражающие ёмкость аэробного ( $b$ ) и соотношение возможностей аэробного и анаэробно-гликолитического источников ( $a$ ) [9, 13]. Величины показателей W1, W40, W240 и W900 характеризуют работоспособность в зонах максимальной, субмаксимальной, большой и умеренной мощности соответственно [9, 13]. Для определения  $VO_{2max}$  применяли непрямой метод оценки данного показателя по Добельну (Döbeln), позволяющий учитывать возраст и пол детей.

Протокол нагрузочного тестирования включал работу равномерно и ступенчато повышающейся мощности. В первом случае для определения  $VO_{2max}$  выполнялась одна «стандартная» нагрузка – 2,5 Вт/кг массы тела длительностью 5 мин и для расчёта параметров уравнения Müller две нагрузки «до отказа» – 2,0 и 4,0 Вт/кг массы тела. Во втором случае для определения  $PWC_{170}$  нагрузка ступенчато повышающейся мощности выполнялась с интервалами для отдыха. Ступени нагрузки составляли 1,0; 2,0; 2,5 или 3,0 Вт/кг массы тела. Время работы на каждой ступени – 5 мин, а интервал отдыха между ступенями – 3 мин. Первые две ступени работы выполняли все испытуемые. Дети, у которых пульс после второй ступени работы не достигал 150 уд/мин, выполняли также и третью ступень мощностью 2,5–3,0 Вт/кг [16]. Интервал между двумя тестами составлял более 2 дней, а при выполнении нагрузок «до отказа» – более 7 дней [13].

Комплекс контрольных упражнений состоял из показателей, характеризующих уровень развития кондиционных физических качеств: шестиминутный бег; прыжок в длину с места; подтягивание из виса на высокой перекладине (мальчики) и подтягивание из виса лёжа на низкой перекладине (девочки); челночный бег 4•9 м; бег 20 метров с хода; поднятие туловища из положения лёжа на спине за 1 мин; наклон вперёд. На этой основе определяли общую оценку физической подготовленности (ОФП).

Общая оценка физической подготовленности учащихся определялась посредством подсчёта баллов, полученных за выполнение 7 контрольных упражнений. Алгоритм расчёта включал распределение испытуемых по уровню каждого показателя на 3 функциональных класса: низкий ( $< M - 0,67$ ), средний ( $M \pm 0,67$ ) и высокий ( $> M + 0,67$ ). Низкому уровню показателя соответствовала оценка в 1 балл, среднему – 2 балла, высокому – 3 балла. Затем баллы суммировали и сопоставляли с «нормой». На этой основе определяли общую оценку физической подготовленности (8 баллов – низкая, 12 баллов – средняя, 16 баллов – высокая).

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета статистических программ Statistica 6.0. Значимость различий определялась посредством применения параметрических и непараметрических критериев достоверности оценок. Для изучения структуры физической работоспособности прово-

### Факторная структура физической работоспособности детей 9–10 лет

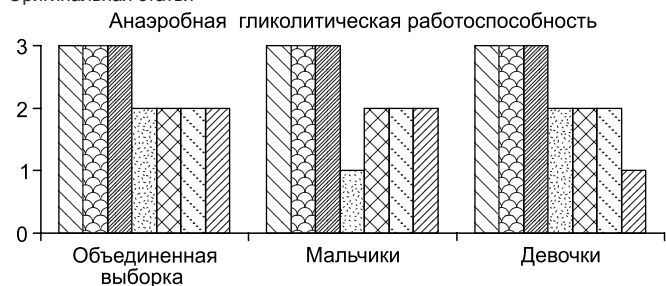
Показатель	Факторная нагрузка
<i>Фактор – анаэробная гликолитическая работоспособность</i>	
W40, Вт/кг	0,866
$t_2$ , с	0,840
ИНПД 4 Вт/кг, уд/с	–0,718
МС, кг	0,628
Поднимание туловища за 1 мин, раз	0,581
ИНПД (спринтерский бег), уд/с	–0,576
W1, Вт/кг	0,511
Вклад в обобщённую дисперсию, %	38
<i>Фактор – аэробная ёмкость</i>	
$b$ , отн. ед.	0,989
W240, Вт/кг	0,915
W900, Вт/кг	0,977
$a$ , отн. ед.	0,950
ИНПД 2Вт/кг, уд/с	–0,803
$t_1$ , с	0,797
Вклад в обобщённую дисперсию, %	18
<i>Фактор – аэробная мощность</i>	
$PWC_{170}$ , кгм/мин	0,966
$VO_{2max}$ , л/мин/кг	0,945
$PWC_{170}$ , кгм/мин/кг	0,828
ВтП, кгм/уд/кг	0,673
$VO_{2max}$ , л/мин	0,629
Вклад в обобщённую дисперсию, %	13
<i>Фактор – общая работоспособность</i>	
ВтП, кгм/уд	0,883
$VO_{2max}$ , л/мин/кг	0,682
Челночный бег, с	–0,596
Бег 6 мин, м	0,486
Прыжок, см	0,451
ВтП, кгм/уд/кг	0,415
Интегральная оценка ФП, балл	0,401
Вклад в обобщённую дисперсию, %	6
<i>Фактор – анаэробная алактатная работоспособность</i>	
W1, Вт/кг	0,831
Интегральная оценка ФП, баллы	0,741
Бег 20 м, с	–0,658
ИНПД (спринтерский бег), уд/с	–0,589
Челночный бег, с	–0,582
Прыжок, см	0,570
Вклад в обобщённую дисперсию, %	6

дился факторный анализ показателей физического состояния по методу главных компонент.

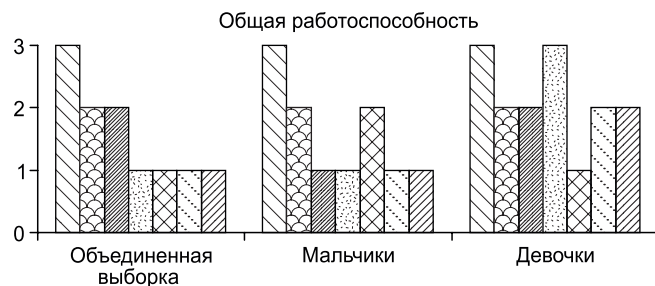
### Результаты

В результате факторизации матрицы интеркорреляций в рассматриваемой возрастной группе выделили 5 основных факторов, вклад которых в суммарную дисперсию переменных превысил 81%: I – анаэробная гликолитическая работоспособность; II – аэробная ёмкость; III – аэробная мощность; IV – общая работоспособность; V – анаэробная алактатная работоспособность (табл. 1).

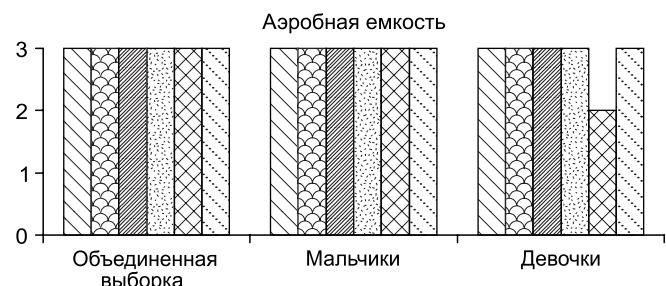
Фактор анаэробной гликолитической работоспособности объединял переменные: W40, время удержания «до от-



W40, Вт/кг T2, с ИНПД 4 Вт/кг, уд/с MC, кг  
 ПТ, раз ИНПД (спринтерский бег), уд/с W1, Вт/кг



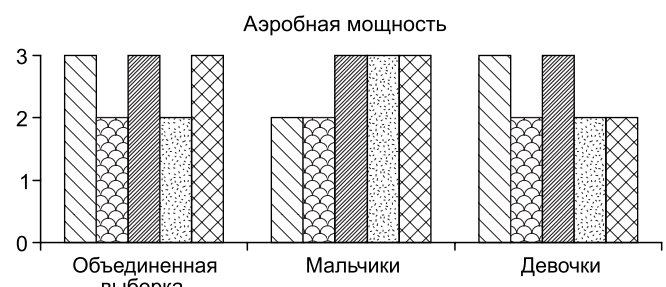
ВтП, кгм/уд Vo2 max, л/мин\*кг Челночный бег, с  
 Бег 6 мин, м Прыжок, см ВтП, кгм/уд\*кг ФП, балл



T1, с ИНПД 2 Вт/кг, уд/с A, отн.ед. W900, Вт/кг  
 W240, Вт/кг B, отн.ед



W1, Вт/кг ФП, балл Бег 20 м, с Челночный бег, с  
 ИНПД (спринтерский бег), уд/с Прыжок, см



PWC170, кгм/мин VO2 max, л/мин PWC170, кгм/мин\*кг  
 ВтП, кгм/уд\*кг Vo2 max, л/мин\*кг

каза» нагрузки 4 Вт/кг, ИНПД после субмаксимальной нагрузки, MC, поднятие туловища, ИНПД после беговой нагрузки максимальной мощности, W1 (см. табл. 1). Все эти показатели характеризуются преобладанием анаэробного компонента энергетического обеспечения мышечной деятельности с преимущественным вовлечением лактацидной и в меньшей степени – алактатной систем.

Основу внутренней структуры фактора «аэробная ёмкость» составляют его корреляции с коэффициентами *b* и *a* уравнения Müller, временем удержания «до отказа» нагрузки 2 Вт/кг, W900, W240, ИНПД после нагрузки большой мощности. В данном факторе объединились показатели, отражающие главным образом функциональную устойчивость кислородтранспортной системы, а также общий объём метаболических изменений в организме при выполнении мышечной деятельности аэробного характера.

В состав фактора «аэробная мощность» были включены абсолютные и относительные показатели PWC<sub>170</sub>, ВтП, VO<sub>2</sub>max. Ведущими физиологическими системами и механизмами, определяющими уровень рассматриваемых параметров, являются предельные функциональные возможности кислородтранспортной системы и скорость окислительных реакций в работающих мышцах. При этом сохраняется значительный вклад анаэробных процессов, главным образом гликолитических.

Соотношения весовых коэффициентов с сильной (3), средней (2) и слабой (1) статистической взаимосвязью в выделенных факторах работоспособности:

а – анаэробная гликолитическая работоспособность; б – аэробная ёмкость; в – аэробная мощность; г – общая работоспособность; д – анаэробная алактатная работоспособность.

В факторе «общая работоспособность» представлено большинство из перечисленных выше показателей со средней и слабой степенью взаимосвязи. Основу внутренних связей данного фактора составляют его корреляции с показателями аэробной и анаэробной производительности организма в различных зонах относительной мощности. Рассматриваемый фактор, по-видимому, отражает способность человека к выполнению любой физической работы, базирующуюся на механизмах положительной перекрёстной адаптации.

С фактором «анаэробной алактатной работоспособности» наиболее сильно коррелировали W1, интегральная оценка ФП, результаты бега на 20 м, ИНПД после беговой нагрузки максимальной мощности, результаты челночного бега и прыжка в длину. Важно отметить, что энергетическое обеспечение тестовых нагрузок, используемых для определения рассматриваемых показателей, осуществляется главным образом за счет алактатного механизма при незначительном участии гликолитической энергетической системы.

В ходе дальнейшей работы сопоставляли факторные структуры физической работоспособности мальчиков и девочек 9–10 лет (см. рисунок). Полученные данные свидетельствуют о том, что у мальчиков и девочек рассматриваемой возрастной группы на фоне сохранения общей структуры работоспособности происходит перераспределение роли отдельных факторов, характе-

ризующих рабочие возможности организма. Важно подчеркнуть, что факторные нагрузки, отражающие взаимосвязь перечисленных выше показателей с выделенными факторами, отличались у мальчиков и девочек, однако в целом характеризовались сильной ( $r = 0,7-0,99$ ), средней ( $r = 0,50-0,69$ ) и в меньшей степени, слабой ( $r = 0,30-0,49$ ) статистической связью (см. рисунок).

Так, у девочек наиболее значимым оказался фактор «анаэробная гликолитическая работоспособность», тогда как у мальчиков данный фактор занимает вторую позицию. И напротив, первую позицию у мальчиков занимает фактор «аэробная ёмкость». У девочек он находится на второй позиции. Далее у девочек следуют «общая работоспособность», «аэробная мощность» и «анаэробная алактатная работоспособность», а у мальчиков «аэробная мощность», «общая работоспособность» и «анаэробная алактатная работоспособность» соответственно. Полученные результаты отражают качественные различия в функционировании системы энергетического обеспечения мышечной деятельности у мальчиков и девочек рассматриваемого возраста.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что выделенные факторы, за исключением фактора «общая работоспособность», могут быть соотнесены с зонами относительной мощности. Данные, представленные в табл. 2, свидетельствуют о том, что мальчики 9–10 лет превосходят своих сверстниц по большинству используемых показателей физической работоспособности. Так, в отношении ряда переменных, характеризующих работоспособность в зоне максимальной мощности, выявлены существенные межгрупповые различия (см. табл. 2). Это касается прежде всего результатов выполнения прыжка в длину с места и челночного бега, а также показателя максимальной силы ( $p < 0,05-0,001$ ).

В зоне субмаксимальной мощности мальчики также демонстрировали более высокую работоспособность по сравнению с девочками (см. табл. 2). Различия касались таких показателей, как  $t_2$ , ИНПД после нагрузки 4 Вт/кг, W40 ( $p < 0,05-0,001$ ). Наиболее отчётливо отличия между мальчиками и девочками проявлялись при выполнении упражнений большой мощности. На основании сопоставления показателей PWC<sub>170</sub>, ИНПД 2Вт/кг, VO<sub>2</sub>max, бег 6 мин,  $t_1$  и W240 (см. табл. 2) можно утверждать, что работоспособность мальчиков в зоне смешанного аэробно-анаэробного энергообеспечения существенно выше, чем девочек ( $p < 0,05-0,01$ ).

Работоспособность в зоне умеренной мощности определяли на основе расчёта интенсивности нагрузки, предельное время удержания которой составляет 900 с (W900), и величины коэффициента  $b$ . Мальчики достоверно превосходили девочек по обоим показателям ( $p < 0,01$ ).

Сравнение средних значений коэффициента  $a$  уравнения Müller позволило установить, что в этот период у мальчиков в структуре энергообеспечения доля окислительных процессов больше (преобладают аэробные возможности) по сравнению с девочками ( $p < 0,05$ ). Большие рабочие возможности у мальчиков хорошо отражает и отношение предельной длительности работы мощностью 4 Вт/кг к максимальному времени удержания нагрузки 2 Вт/кг. Так, у девочек 2-кратное снижение мощности нагрузки, выполняемой «до отказа», с 4 до 2 Вт/кг приводит к 11-кратному возрастанию предельной продолжительности работы, тогда как у мальчиков – к 19-кратному. У мальчиков продолжительность удержания нагрузки мощностью 2 Вт/кг в 2,1 раза больше, чем у девочек, а нагрузки 4 Вт/кг – в 1,4 раза (см. табл. 2).

Данные настоящего исследования расширяют представление о способности детей 9–10 лет к выполнению нагрузок «до отказа» в зоне субмаксимальной и большой мощности. В практическом плане они обуславливают необходимость чёткого гигиенического нормирования нагрузок в занятиях по физическому воспитанию с учётом половой принадлежности детей рассматриваемой возрастной группы. В связи с этим необходимо подчеркнуть, что мощность нагрузки, предельная продолжительность которой составляет 40, 240 и 900 с, у мальчиков выше, чем у девочек на 8; 20 и 23% соответственно. Более высокая работоспособность мальчиков во всех зонах относительной мощности обусловлена, по-видимому, меньшей физиологической «стоимостью» выполняемой работы, расширенным функцио-

## Показатели физического состояния детей 9–10 лет, М ± m

Показатель	Мальчики (n = 44)	Девочки (n = 47)
Возраст испытуемых, годы	9,40 ± 0,05	9,30 ± 0,04
Масса тела, кг	32,6 ± 0,5	31,9 ± 0,5
Длина тела, см	135,6 ± 0,6	134,9 ± 0,6
PWC170, кгм/мин/кг	13,90 ± 0,53**	12,00 ± 0,37
VO <sub>2</sub> max, мл/мин/кг	58,60 ± 0,79***	44,60 ± 0,68
ВтП, кгм/уд/кг	0,1580 ± 0,006**	0,135 ± 0,005
ИНПД 2Вт/кг, уд/с	0,60 ± 0,07***	1,00 ± 0,08
ИНПД 4Вт/кг, уд/с	4,10 ± 0,29	4,90 ± 0,39
$t_1$ , с	730,80 ± 115,87**	352,10 ± 41,39
$t_2$ , с	43,40 ± 2,91**	31,90 ± 1,62
$a$ , отн. ед.	3,60 ± 0,14*	3,20 ± 0,14
$b$ , отн. ед.	8,70 ± 0,23**	7,9 ± 0,2
W1, Вт/кг	14,0 ± 1,3	16,80 ± 2,17
W40, Вт/кг	4,00 ± 0,08**	3,70 ± 0,07
W240, Вт/кг	2,40 ± 0,07***	2,00 ± 0,06
W900, Вт/кг	1,60 ± 0,07**	1,30 ± 0,07
МС, кг/кг	1,23 ± 0,04*	1,09 ± 0,04
Челночный бег 4•9 м, с	11,70 ± 0,07***	12,50 ± 0,09
Прыжок в длину с места, см	147 ± 1,82***	132,30 ± 1,93
Бег 20 м, с	4,30 ± 0,04	4,40 ± 0,07
Поднимание туловища за 1 мин, раз	37,40 ± 0,94	36,50 ± 0,53
Шестиминутный бег, м	1207,40 ± 25,89***	992,10 ± 18,11
Наклон вперёд, см	1,10 ± 0,94*	3,70 ± 0,85

П р и м е ч а н и е. Достоверность различий между мальчиками и девочками: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ .

нальным диапазоном и повышенной по сравнению с девочками биологической надёжностью функциональных систем организма в возрасте 9–10 лет.

## Обсуждение

Анализ литературы показывает, что исследование, касающиеся оздоровительной роли физического воспитания детей, по-прежнему не теряют своей научной и практической значимости [1, 6, 7, 27]. Большую роль в реализации оздоровительной направленности физического воспитания школьников, как известно, играет гигиенически обоснованное нормирование физических нагрузок, базирующееся на учёте возрастного-половых и индивидуальных особенностей мышечной работоспособности и двигательной подготовленности детей [2, 4]. Проведённое исследование выявило существенные различия в уровне физической работоспособности мальчиков и девочек 9–10 лет во всём диапазоне доступных нагрузок. Полученные результаты свидетельствуют о том, что наибольшие факторные нагрузки в структуре физической работоспособности мальчиков и девочек 9–10 лет несут показатели аэробной и анаэробной производительности организма. Установлено, что структуру физической работоспособности детей характеризуют 5 значимых факторов: анаэробная гликолитическая работоспособность; аэробная ёмкость; аэробная мощность; общая работоспособность; анаэробная алактатная работоспособность. Последнее необходимо учитывать при отборе информативных критериев оценки физической работоспособности, создании систем её диагностики, регламентации физических нагрузок и разработке эффективных тренировочных программ. Полученные данные подтверждают представление о том, что аэробные и анаэробные возможности

организма являются наиболее важными аспектами, определяющими физическую работоспособность человека на различных этапах онтогенеза [9–11, 14, 24]. Сходная структура физической работоспособности выявлена нами у детей 5–6 и 7–8 лет. Принципиальное совпадение факторных структур работоспособности мальчиков и девочек 9–10 лет с факторными структурами детей других возрастных групп [26] свидетельствует о том, что выделенные аспекты работоспособности могут рассматриваться в качестве наиболее устойчивых её компонентов, формирующихся в ходе индивидуального развития. Важно подчеркнуть, что аэробная работоспособность у детей этих возрастных групп оказалась многокомпонентным фактором. В её составе отчетливо выделяются «субфакторы» аэробной мощности и аэробной ёмкости. Это указывает на то, что аэробные возможности организма в старшем дошкольном и младшем школьном возрасте более дифференцированы, чем анаэробные алактатные и анаэробные гликолитические. Вместе с тем в процессе исследования установлено, что мальчики и девочки 9–10 лет существенно отличаются по вкладу рассматриваемых факторов в обобщённую дисперсию выборки и числу переменных, входящих в их состав. Эти данные свидетельствуют о том, что значимость идентифицированных факторов в структуре работоспособности мальчиков и девочек различна и эти различия весьма существенны. Последнее, по-видимому, отражает специфику организации вегетативного и энергетического обеспечения мышечной работы, обусловленную половой принадлежностью школьников. Выявленные особенности факторной структуры физической работоспособности указывают на необходимость разработки гигиенических подходов к диагностике адаптационных возможностей и организации процесса физического воспитания детей 9–10 лет дифференцированно в зависимости от их пола.

Сравнительный анализ комплекса показателей физического состояния школьников 9–10 лет позволил сделать заключение о том, что мальчики превосходят девочек по уровню работоспособности, проявляемой в различных зонах относительной мощности. Наименее выраженные различия обнаружены в отношении переменных, характеризующих производительность фосфагенной системы энергообеспечения, тогда как по критериям аэробной мощности и ёмкости они были максимальными. Вся совокупность полученных данных подтверждает представление о том, что возраст 9–10 лет является периодом «расцвета» аэробных возможностей, особенно у мальчиков [9, 11]. Высокая аэробная производительность организма школьников данного возраста базируется на кардинальных изменениях активности тканевых окислительных ферментов, существенной перестройке состава мышечных волокон (увеличение количества волокон I типа) и повышении возможностей кислородтранспортной системы [3, 11, 15]. Важно подчеркнуть, что к этому возрасту морфофункциональное развитие ребёнка достигает такого уровня, который создаёт благоприятные условия для длительного поддержания работоспособности [3].

Вместе с тем, как было показано выше, девочки в этот период начинают существенно отличаться от мальчиков по характеру и уровню развития мышечной энергетики. Установлено, что у них по сравнению с мальчиками возрастает роль анаэробных механизмов энергообеспечения. Это согласуется с данными о том, что связанные с полом различия в анаэробном энергообеспечении мышечной деятельности проявляются в препубертатном периоде при выполнении нагрузок высокой интенсивности [9]. Полученные материалы подтверждают также сведения о том, что у девочек 9–10 лет аэробные механизмы энергообеспечения развиты слабее, а эффективность функционирования кислородтранспортной системы в покое и при физической нагрузке у них ниже, чем у мальчиков [8, 9, 17, 23]. В частности, выявлены половые различия в отношении массы левого желудочка, величины ударного объёма и сердечного ритма [23]. Важно отметить, что по мере взросления, начиная с возраста 9–10 лет, относительная величина физической работоспособности ( $PWC_{170}$ ) у девочек проявляет тенденцию к снижению, а у нетренированных мальчиков сохраняется примерно на одном и том же уровне [18]. Необходимо также принимать во внимание, что у девочек темп процессов роста и развития выше, чем у мальчиков, и, соответственно, по биологическому возрасту они обычно

значительно опережают сверстников, раньше вступая в препубертатный период. В связи с этим у девочек раньше наступает препубертатная передифференцировка мышечных волокон, обуславливающая относительное снижение количества волокон I типа и увеличение доли волокон IIВ типа [13]. Существенные перестройки структуры и функциональных свойств волокон IIВ типа приводят к относительному увеличению анаэробных алактатных возможностей организма. Следует подчеркнуть, что у девочек 9–10 лет отмечается более высокий уровень тестостерона и соматотропина с соответствующим усилением роста и более низкая интенсивность обменных процессов по сравнению с мальчиками [3, 13]. Обусловленные полом особенности гормонального статуса и организации метаболизма оказывают значительное влияние на энергетическое и вегетативное обеспечение мышечной деятельности [9].

Материалы исследования совпадают с результатами других работ, в которых подчёркивается, что в препубертатный период мальчики постепенно начинают опережать девочек по уровню работоспособности в зоне аэробного, смешанного аэробно-анаэробного и анаэробного гликолитического энергообеспечения [3, 8, 18, 28]. Обнаруженные особенности, по-видимому, обусловлены, с одной стороны, спецификой функционирования генетических систем, контролирующих процессы роста и развития мальчиков и девочек на данном этапе онтогенеза, а с другой – половыми различиями в уровне привычной двигательной активности [8, 29, 30].

Результаты исследования указывают на необходимость гигиенически обоснованного нормирования физических нагрузок различной метаболической направленности в занятиях по физическому воспитанию детей 9–10 лет с учётом их половой принадлежности и уровня работоспособности. Поскольку мальчики превосходят девочек по уровню работоспособности и двигательной подготовленности, проявляемой в зонах максимальной, субмаксимальной, большой и умеренной мощности, оптимальная для них величина физических нагрузок аэробного и анаэробного характера может быть чрезмерно высокой для девочек. В этом случае использование повышенных нагрузок, выходящих за границы гигиенической нормы, будет приводить к снижению оздоровительного эффекта занятий.

## Заключение

В ходе исследования выявлены выраженные количественные и качественные различия в отношении физической работоспособности мальчиков и девочек 9–10 лет во всем диапазоне доступных нагрузок. Идентифицированы 5 основных факторов, определяющих структуру физической работоспособности детей рассматриваемой возрастной группы: аэробная гликолитическая работоспособность; аэробная ёмкость; аэробная мощность; общая работоспособность; анаэробная алактатная работоспособность. Выделенные факторы, за исключением фактора общей работоспособности, соотносятся с зонами относительной мощности.

Показано, что у мальчиков и девочек данного возраста на фоне сохранения общей структуры физической работоспособности по-разному распределены вклады рассматриваемых факторов в обобщённую дисперсию выборки, а также физиологические показатели, входящие в состав отдельных факторов, и их весовые коэффициенты. Установлено, что мальчики 9–10 лет существенно превосходят девочек по уровню физической работоспособности. При этом наибольшее количество статистически значимых различий выявлено в отношении переменных, характеризующих работоспособность в зонах большой и умеренной мощности, связанных преимущественно с аэробным и смешанным аэробно-анаэробным энергообеспечением мышечной деятельности. Наименее значимые межгрупповые различия обнаружены в величине параметров работоспособности в зоне максимальной мощности.

Результаты исследования могут найти применение при решении практических задач по гигиеническому нормированию физических нагрузок различной метаболической направленности в процессе физического воспитания и оздоровительной тренировки детей 9–10 лет с учётом их половой принадлежности и уровня физической работоспособности во всём диапазоне доступных нагрузок.

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-06-00211а).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Литература

(1, 4, 5, 11, 12, 14, 15, 17–25, 27–30 см. References)

2. Сухарев А.Г. Формирование адаптационных возможностей организма детей и подростков. *Вестник Российской Академии медицинских наук*. 2008; (8): 15–8.
3. Безруких М.М., Фарбер Д.А., ред. *Физиология развития ребенка: Руководство по возрастной физиологии*. М.: Московский психолого-социальный институт; 2010.
6. Баранов А.А., Кучма В.Р., Скоблина Н.А., Милушкина О.Ю., Бокарева Н.А. Основные закономерности морфофункционального развития детей и подростков в современных условиях. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2012; (12): 35–40.
7. Кучма В.Р., Милушкина О.Ю., Бокарева Н.А., Детков В.Ю., Федотов Д.М. Гигиеническая оценка влияния средовых факторов на функциональные показатели школьников. *Гигиена и санитария*. 2013; 92 (5): 91–4.
8. Сухарев А.Г. *Здоровье и физическое воспитание детей и подростков*. М.: Медицина; 1991.
9. Сонькин В.Д., Тамбовцева Р.В. Развитие мышечной энергетики и работоспособности в онтогенезе. М.: ЛИБРОКОМ; 2011.
10. Волков Н.И., Осипенко А.А., Несен Э.Н., Корсун С.Н. *Биохимия мышечной деятельности*. Киев: Олимпийская литература; 2000.
13. Корниенко И.А., Сонькин В.Д., Тамбовцева Р.В. Возрастное развитие энергетики мышечной деятельности: итоги 30-летнего исследования. Сообщение I. Структурно-функциональные перестройки. *Физиология человека*. 2005; 31 (4): 42–7.
16. Тихвинский С.Б., Хрущёв С.В., ред. *Детская спортивная медицина: Руководство для врачей*. М.: Медицина; 1991.
26. Криволапчук И.А., Чернова М.Б., Полянская Н.В. Факторная структура физической работоспособности детей 7–8 лет. *Гигиена и санитария*. 2016; 95 (7): 636–42.

## References

1. Dalbokova D., Krzyzanowski M., Lloyd S., eds. *Children's Health and the Environment in Europe: a Baseline Assessment*. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe; 2007.
2. Sukharev A.G. Formation of adaptable possibilities of an organism of children and adolescents. *Vestnik Rossiyskoy Akademii meditsinskikh nauk*. 2008; (8): 15–8. (in Russian)
3. Bezrukikh M.M., Farber D.A., eds. *The Physiology of a Child's Development: on Age Physiology Guide [Fiziologiya razvitiya rebenka: Rukovodstvo po vozrastnoy fiziologii]*. Moscow: Moskovskiy psikhologo-sotsial'nyy institut; 2010. (in Russian)
4. WHO. *Global Recommendations on Physical activity for Health*. Geneva: World Health Organization; 2010.
5. Boddy L.M., Hasckett A.F., Stratton G. Changes in fitness, body mass index and obesity in 9–10 year olds. *J. Hum. Nutr. Diet*. 2010; 23 (3): 254–9.
6. Baranov A.A., Kuchma V.R., Skoblina N.A., Milushkina O.Yu., Bokareva N.A. Main regularities of morphofunctional development of children and adolescents in modern conditions. *Vestnik Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2012; (12): 35–40. (in Russian)
7. Kuchma V.R., Milushkina O.Yu., Bokareva N.A., Detkov V.Yu., Fedotov D.M. Hygienic assessment of the impact of environmental factors on the functional performance of schoolchildren. *Gigiena i sanitariya*. 2013; 92 (5): 91–4. (in Russian)
8. Sukharev A.G. *Health and Physical Education of Children and Adolescents [Zdorov'e i fizicheskoe vospitanie detey i podrostkov]*. Moscow: Meditsina; 1991. (in Russian)
9. Son'kin V.D., Tambovtseva R.V. *Development of Muscle Power and Performance in Ontogenesis [Razvitie myshechnoy energetiki i rabotosposobnosti v ontogeneze]*. Moscow: LIBROKOM; 2011. (in Russian)
10. Volkov N.I., Osipenko A.A., Nesen E.N., Korsun S.N. *Biochemistry of Muscle Activity [Biokhimiya myshechnoy deyatel'nosti]*. Kiev: Olimpiyskaya literature; 2000. (in Russian)
11. 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; 49 (13): 860–4.
12. Inbar O., Bar-Or O. Anaerobic characteristics in male children and adolescents. *Med. Sci. Sports Exerc*. 1986; 18 (3): 264–9.
13. Kornienko I.A., Son'kin V.D., Tambovtseva R.V. Age-energy development of muscular activity: results of a 30-year study. Part I. Structural and functional changes. *Fiziologiya cheloveka*. 2005; 31 (4): 42–7. (in Russian)
14. Leclair E., Borel B., Thevenet D., Baquet G., Mucci P., Berthoin S. Assessment of child-specific aerobic fitness and anaerobic capacity by the use of the power-time relationships constants. *Pediatr. Exerc. Sci*. 2010; 22 (3): 454–66.
15. Tonson A., Ratel S., Le Fur Y., Vilmen C., Cozzone P.J., Bendahan D. Muscle energetics changes throughout maturation: a quantitative 31P-MRS analysis. *J. Appl. Physiol*. 2010; 109 (6): 1769–78.
16. Tikhvinskiy S.B., Khrushchev S.V., ed. *Pediatric Sports Medicine: Guide for Doctors [Detskaya sportivnaya meditsina Rukovodstvo dlya vrachey]*. Moscow: Meditsina; 1991. (in Russian)
17. Mandigout S., Lecoq A.M., Courteix D., Guenon P., Obert P. Effect of gender in response to an aerobic training programme in prepubertal children. *Acta Paediatr*. 2001; 90 (1): 9–15.
18. McMurray R.G., Harrell J.S., Bradley C.B., Deng S., Bangdiwala S.I. Gender and ethnic changes in physical work capacity from childhood through adolescence. *Res. Q. Exerc. Sport*. 2003; 74 (2): 143–52.
19. Butterfield S.A., Lehnhard R.A., Mason C.A., McCormik R. Aerobic performance by children in grades 4 to 8: a repeated-measures study. *Percept. Mot. Skills*. 2008; 107 (3): 775–90.
20. Roberts S.J., Boddy L.M., Fairclough S.J., Stratton G. The influence of relative age effects on the cardiorespiratory fitness levels of children age 9 to 10 and 11 to 12 years of age. *Pediatr. Exerc. Sci*. 2012; 24 (1): 72–83.
21. Doré E., Bedu M., França N.M., Van Paagh E. Anaerobic cycling performance characteristics in prepubescent, adolescent and young adult females. *Eur. J. Appl. Physiol*. 2001; 84 (5): 476–81.
22. Tomkinson G.R. Global changes in anaerobic fitness test performance of children and adolescents (1958–2003). *Scand. J. Med. Sci. Sports*. 2007; 17 (5): 497–507.
23. Douma-van Riet D., Verschuren O., Jelsma D., Kruitwagen C., Smits-Engelsman B., Takken T. Reference values for the muscle power sprint test in 6- to 12-year-old children. *Pediatr. Phys. Ther*. 2012; 24 (4): 327–32.
24. Riner W.F., McCarthy M., DeCillis, L., Ward D.S. Relationship of anaerobic to aerobic function in children and adolescents. *Med. Sci. Sports Exerc*. 1997; 29 (5): 1528–34.
25. Andreacci J.L., Haile L., Dixon C. Influence of testing sequence on a child's ability to achieve maximal anaerobic and aerobic power. *Int. J. Sports. Med*. 2007; 28 (8): 673–7.
26. Krivolapchuk I.A., Chernova M.B., Polyanskaya N.V. Factorial structure of physical performance in children aged of 7–8 years. *Gigiena i sanitariya*. 2016; 95 (7): 636–42. (in Russian)
27. Janssen I., Leblanc A. Systematic Review of the Health Benefits of Physical Activity in School-Aged Children and Youth. *Int. J. Behav. Nutr. Phys. Act*. 2010; 7 (40): 1–16.
28. Gole K., Muehlbauer T., Wick D., Granacher U. Physical Fitness Percentiles of German Children Aged 9–12 Years: Findings from a Longitudinal Study. *PLoS One*. 2015; 10 (11): 1–17.
29. Nyberg G.A., Nordenfeld A.M., Ekelund U., Marcus C. Physical activity patterns measured by accelerometry in 6- to 10-yr-old children. *Med. Sci. Sports. Exerc*. 2009; 41 (10): 1842–8.
30. Chillón P., Ortega F.B., Ruiz J.R., Veidebaum T., Oja L., Mäestu J. et al. Active commuting to school in children and adolescents: an opportunity to increase physical activity and fitness. *Scand. J. Public Health*. 2010; 38 (8): 873–9.

Поступила 19.09.16  
Принята к печати 16.01.17