

## ФАКТОРЫ И УРОВЕНЬ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ШКОЛЬНИКОВ 13–14 ЛЕТ

Криволапчук И.А.<sup>1, 2, 3</sup>,  
Чернова М.Б.<sup>1</sup>,  
Сушецкий В.К.<sup>4</sup>,  
Чичерин В.П.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБНУ «Институт развития, здоровья и адаптации ребёнка» (119121, г. Москва, ул. Погодинская, 8, корп. 2, Россия)

<sup>2</sup> ГАОУ ВО г. Москвы «Московский государственный университет спорта и туризма» (117519, г. Москва, ул. Кировоградская, 21, корп. 1, Россия)

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Государственный университет управления» (109542, г. Москва, Рязанский просп., 99, Россия)

<sup>4</sup> УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы» (230023, г. Гродно, ул. Ожешко, 22, Республика Беларусь)

Автор, ответственный за переписку:  
Криволапчук Игорь Альерович,  
e-mail: i.krivolapchuk@mail.ru

### РЕЗЮМЕ

Существует недостаток данных об особенностях физической работоспособности школьников в критический период онтогенеза, связанный с процессом полового созревания.

**Цель исследования.** Выявить факторы и уровень физической работоспособности школьников 13–14 лет с учётом полового созревания.

**Методика.** В исследовании приняли участие здоровые подростки мужского пола 13–14 лет ( $n = 165$ ). Определяли пять стадий полового созревания. Для диагностики уровня физической работоспособности использовали комплекс функциональных и эргометрических проб и батарею моторных тестов. Структуру работоспособности определяли на основе факторного анализа.

**Результаты и обсуждение.** Идентифицированы факторы, характеризующие физическую работоспособность: аэробная ёмкость; абсолютная аэробная мощность; анаэробная алактатная работоспособность; анаэробная гликолитическая работоспособность; относительная аэробная мощность. Выделенные факторы ассоциируются с зонами относительной мощности. Установлено, что в процессе полового созревания изменения показателей, объединённых в разные факторы, происходят нелинейно и неодновременно. Результаты исследования показывают, что испытуемые одного возраста со II, III и IV стадиями полового созревания отличаются по уровню ключевых биоэнергетических критериев работоспособности. С переходом на более высокие стадии полового созревания наблюдается прогрессивная динамика большинства показателей, связанных с факторами анаэробной работоспособности, тогда как показатели аэробной мощности и ёмкости изменяются разнонаправленно, проявляя в отдельных случаях тенденцию к временному снижению.

**Заключение.** Результаты исследования целесообразно использовать при организации различных видов контроля функционального состояния и нормирования физических нагрузок аэробной и анаэробной направленности у подростков 13–14 лет с разными стадиями полового созревания. Полученные материалы могут служить естественнонаучным основанием для совершенствования системы физического воспитания в целях повышения функциональных возможностей организма детей в критический период онтогенеза, связанный с процессом полового созревания.

**Ключевые слова:** факторный анализ, физическая работоспособность и мышечная энергетика, стадии полового созревания, мальчики-подростки

Статья поступила: 05.10.2023

Статья принята: 30.05.2024

Статья опубликована: 15.07.2024

**Для цитирования:** Криволапчук И.А., Чернова М.Б., Сушецкий В.К., Чичерин В.П. Факторы и уровень физической работоспособности школьников 13–14 лет. *Acta biomedica scientifica*. 2024; 9(3): 26-37. doi: 10.29413/ABS.2024-9.3.3

## FACTORS AND LEVEL OF PHYSICAL PERFORMANCE OF SCHOOLCHILDREN AGED 13–14 YEARS

Krivolapchuk I.A.<sup>1,2,3</sup>,  
Chernova M.B.<sup>1</sup>,  
Suheckij V.K.<sup>4</sup>,  
Chicherin V.P.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Child Development,  
Health and Adaptation (Pogodinskaya str. 8,  
building 2, Moscow 119121,  
Russian Federation)

<sup>2</sup> Moscow State University of Sport  
and Tourism (Kirovogradskaya str. 21,  
building 1, Moscow 117519,  
Russian Federation)

<sup>3</sup> The State University of Management  
(Ryazansky ave. 99, Moscow 109542,  
Russian Federation)

<sup>4</sup> Yanka Kupala State University of Grodno  
(Ozheshko str. 22, Grodno 230023, Belarus)

Corresponding author:  
**Igor A. Krivolapchuk**,  
e-mail: i.krivolapchuk@mail.ru

### ABSTRACT

*There is an insufficiency of data on the characteristics of physical performance of schoolchildren in the critical period of ontogenesis associated with pubertal development.*

**The aim of the study.** *To determine the factors and level of physical performance of schoolchildren aged 13–14 years, taking into account pubertal development.*

**Methodology.** *The study involved healthy male adolescents aged 13–14 years (n = 165). Five stages of puberty were determined. To diagnose the level of physical performance, a complex of functional and ergometric tests and a battery of motor tests were used. The structure of performance was determined based on the factor analysis.*

**Results and discussion.** *We determined the factors characterizing physical performance: aerobic capacity; absolute aerobic power; anaerobic alactic performance; anaerobic glycolytic performance; relative aerobic power. The identified factors are associated with zones of relative power. It has been established that during puberty, changes in indicators combined into different factors occur non-linearly and non-simultaneously. The results of the study show that subjects of the same age with stages II, III and IV of puberty differ in the level of key bioenergetic performance criteria. Transition to higher stages of puberty is accompanied with progressive dynamics of most indicators associated with factors of anaerobic performance, while indicators of aerobic power and capacity change in different directions, showing in some cases a tendency to temporarily decrease.*

**Conclusion.** *It is advisable to use the results of the study when organizing various types of monitoring the functional state and regulation of aerobic and anaerobic physical activity in adolescents aged 13–14 years at different stages of puberty. The obtained materials can serve as a scientific basis for improving the physical education system in order to increase the functional capabilities of children's bodies during the critical period of ontogenesis associated with pubertal development.*

**Key words:** *factor analysis, physical performance and muscle energy, stages of puberty, adolescent boys*

Received: 05.10.2023  
Accepted: 30.05.2024  
Published: 15.07.2024

**For citation:** Krivolapchuk I.A., Chernova M.B., Suheckij V.K., Chicherin V.P. Factors and level of physical performance of schoolchildren aged 13–14 years. *Acta biomedica scientifica*. 2024; 9(3): 26-37. doi: 10.29413/ABS.2024-9.3.3

## ОБОСНОВАНИЕ

Физическая работоспособность – надёжный показатель функционального состояния человека, отражающий уровень его здоровья, физиологические и психические резервы организма, эффективность, мощность и ёмкость энергетических источников, степень адаптированности к интенсивной мышечной деятельности. Выявление закономерностей формирования системы мышечной энергетике и работоспособности человека в ходе онтогенеза является одной из важнейших задач спортивной и возрастной физиологии, профилактической медицины, оздоровительной физической культуры, теории и методики юношеского спорта. Во многом это определяется тем, что преобразование отдельных элементов этой системы в процессе развития происходят гетерохронно и неравномерно, обуславливая специфику адаптации организма к физической работе аэробной и анаэробной направленности [1–4]. Особенно важны сведения о состоянии мышечной энергетике и работоспособности человека в критический период онтогенеза, связанный с процессом полового созревания, в ходе которого существенно изменяется активность гипоталамо-гипофизарной системы, опосредующей перестройки функционирования эндокринных желез и ключевых физиологических систем [5–8].

Сегодня остаётся открытым вопрос о факторах, определяющих физическую работоспособность подростков в период полового созревания. Эти факторы, как правило, рассматриваются в качестве относительно независимых аспектов работоспособности, отражающих активность различных функциональных систем, интегрированных в доминирующую функциональную систему, ответственную за реализацию мышечной деятельности [9, 10]. В значительной степени это связано с тем, что в процессе полового созревания происходят выраженные преобразования механизмов энергетического обеспечения мышечной деятельности [2, 4], что не может не отразиться на изменении числа и состава факторов, характеризующих физическую работоспособность, границ различных зон мощности, соотношений уровней развития аэробных и анаэробных возможностей и двигательной подготовленности. В этой связи возникает необходимость выявления факторной структуры и уровня физической работоспособности подростков, а также определения валидных показателей её оценки в период полового созревания.

Хорошо известно, что в пубертатном периоде функциональное состояние и резервные возможности организма определяются не только паспортным, но и биологическим возрастом детей [5, 2, 4, 11]. На данном этапе развития среди подростков одного паспортного возраста отмечаются существенные расхождения по уровню половой зрелости [12, 13], что необходимо принимать во внимание при диагностике функциональных возможностей организма, нормировании нагрузок аэробной и анаэробной направленности, выборе адекватных режимов физической активности.

## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выявить факторы и уровень физической работоспособности школьников 13–14 лет с учётом стадии полового созревания.

## МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие не посещающие спортивные секции подростки мужского пола 13–14 лет ( $n = 165$ ; средний возраст  $13,5 \pm 0,03$  года). Работа проводилась в соответствии с принципами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации и одобрена этическим комитетом ФГБНУ «Институт развития, здоровья и адаптации ребёнка» (протокол № 1 от 17.02.2023).

Исследование проводили при температуре воздуха 18–24 °С, через несколько часов после приёма пищи. В помещении, где осуществлялось тестирование, были созданы условия для оказания неотложной и первой медицинской помощи. В работе принимал участие врач, имеющий богатый опыт в осуществлении данного вида функциональных исследований. Критериями исключения при проведении тестирования физической работоспособности были: наличие острых заболеваний за 2 недели до начала исследования; признаки острой респираторной инфекции в момент обследования. Исследование проводили только на здоровых подростках, не имеющих медицинских противопоказаний для занятий физической культурой и спортом, в дни оптимальной работоспособности в период с 9.00 до 12.00 часов.

Определялись факторы физической работоспособности и информативные показатели, пригодные для её диагностики. У подростков с разными стадиями полового созревания (СПС) сопоставлялись величины информативных показателей физического состояния, характеризующих каждый из выделенных факторов.

В исследовании использовали гетерогенную батарею эргометрических тестов и функциональных проб, комплексно оценивающих физическую работоспособность [10]. Определяли максимальное потребление кислорода ( $VO_2\max$ ) по Добельну, ватт-пульс (ВтП), мощность нагрузки при пульсе 170 уд./мин ( $PWC_{170}$ ), максимальную силу (МС), интенсивность накопления пульсового долга (ИНПД) и время работы при выполнении «до отказа» велоэргометрических нагрузок 3 и 5 Вт/кг. Используя уравнение Мюллера, находили индивидуальные константы, характеризующие ёмкость аэробного (b) источника и степень разнокачественности работающих скелетных мышц (a), показатели мощности работы, время удержания которой равно 1, 40, 240 и 900 с ( $W_1$ ,  $W_{40}$ ,  $W_{240}$  и  $W_{900}$ ) [2, 14].

Модель тестирования предполагала использование велоэргометрических нагрузок. Для расчёта параметров уравнения Мюллера выполнялись две нагрузки «до отказа» 3,0 и 5,0 Вт/кг,  $VO_2\max$  – одна «стандартная» нагрузка 2,5 Вт/кг массы тела длительностью 5 мин,  $PWC_{170}$  – нагрузка повышающейся мощности с интервалами для отдыха. Ступени нагрузки составляли 1,5, 2,5 и 3,5 Вт/кг мас-

сы тела. Продолжительность работы на каждой ступени – 5 мин, интервал отдыха между ступенями – 3 мин. Первые две ступени работы реализовывали все испытуемые. Если частота сердечных сокращений (ЧСС) после 2-й ступени работы не достигала 150 уд/мин, выполнялась третья ступень мощностью 2,5–3,5 Вт/кг [15]. Запись сердечного ритма проводили с помощью пульсометра Polar (Polar Electro, Финляндия). Интервал между двумя тестами на удержание нагрузок «до отказа» составлял 7 дней, во всех других случаях – 2 дня. Скорость педалирования была постоянной и составляла 60 об/мин. В качестве критерия «отказа от выполнения работы» рассматривали снижение частоты педалирования более чем на 10 %. Во время тестирования работоспособности у подростков не были выявлены выраженные клинические признаки, указывающие на необходимость прекращения работы. Это подтверждает представление о том, что оценка физической работоспособности подростков посредством напряжённых физических нагрузок при соблюдении мер предосторожности является безопасной процедурой [2, 15].

Батарея контрольных упражнений включала: 6-минутный бег; челночный бег 4 × 9 м; бег 20 м с хода; прыжок в длину с места, поднятие туловища из положения лёжа на спине за 1 мин; наклон вперёд. Общая оценка физической подготовленности (ОФП) рассчитывалась посредством суммирования баллов, полученных за выполнение каждого моторного теста [10].

По методике Д.В. Колесова и Н.Б. Сельверовой определяли 5 стадий полового созревания. В обследуемой выборке выявлены все СПС (I СПС – 4 школьника; II СПС – 63 школьника; III СПС – 58 школьников; IV СПС – 37 школьников; V СПС – 3 школьника). Однако результаты тестирования подростков с I и V СПС не анализировались в связи с их малой численностью. Было установлено, что группы подростков с разными СПС статистически значимо не отличались по паспортному возрасту.

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных программ Statistica (StatSoft Inc., США). Для изучения структуры физической работоспособности применялся факторный анализ – метод главных компонент. Возможность проведения факторного анализа оценивалась с помощью критерия Кайзера – Мейера – Олкина (КМО). Выборка рассматривалась как приемлемая при величине этого критерия, превышающей 0,5. Статистическая значимость различий определялась посредством применения параметрических и непараметрических критериев статистической значимости оценок для несвязанных выборочных совокупностей. Для оценки статистической значимости различий использовали уровень вероятности  $p < 0,05$ . Описанный алгоритм исследования применяли также для выявления структуры физической работоспособности детей 7–8 и 9–10 лет [10].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе многомерного статистического анализа идентифицированы факторы, характеризующие мышечную

энергетику и работоспособность обучающихся в период полового созревания. Интерпретация факторов проводилась на основе анализа физиологического содержания вошедших в них показателей с учётом величин весовых коэффициентов.

После факторизации матрицы интеркорреляций выделились значимые факторы, отражающие фундаментальные характеристики мышечной энергетики и работоспособности мальчиков-подростков в период полового созревания: I – аэробная ёмкость (окислительная система); II – абсолютная аэробная мощность (окислительная система); III – анаэробная алактатная работоспособность (фосфагенная система); IV – анаэробная гликолитическая работоспособность (лактаcidная система); V – относительная аэробная мощность (окислительная система) (табл. 1).

Основу внутренней структуры фактора аэробной ёмкости (38 % общей дисперсии) создают его тесные взаимосвязи с коэффициентами «b» и «a» уравнения Мюллера, временем выполнения «до отказа» нагрузки 3 Вт/кг ( $t_{3 \text{ Вт/кг}}$ ),  $W_{900'}$ ,  $W_{240'}$ , ИНПД<sub>3 Вт/кг</sub> и результатами 6-минутного бега (табл. 1).

Все эти физиологические переменные в той или иной степени характеризуют объём выполненной работы аэробной направленности. Исключение составляют показатели  $W_{240'}$  и 6-минутный бег, отражающие смешанный аэробно-анаэробный характер энергообеспечения, включённые также в факторы анаэробной гликолитической и анаэробной алактатной работоспособности. Наибольшими весовыми нагрузками по фактору аэробной ёмкости характеризовались коэффициент «b» уравнения Мюллера ( $r = 0,98$ ) и  $t_{3 \text{ Вт/кг}}$  ( $r = 0,97$ ).

В факторы абсолютной (17 % дисперсии) и относительной (5 % дисперсии) аэробной мощности вошли  $VO_{2\text{max}}$ , ВтП и  $PWC_{170'}$ . Следует отметить, что в первом случае эти физиологические показатели характеризовались высокими отрицательными факторными коэффициентами, а во втором – высокой и средней степенью положительной корреляции. В обоих факторах максимальные весовые нагрузки имели  $VO_{2\text{max}}$  ( $r = -0,94$  и  $r = 0,86$ ) и ВтП ( $r = -0,94$  и  $r = 0,85$ ).

С фактором работоспособности, связанным с фосфагенной системой энергообеспечения, (13 % дисперсии), коррелировали ИНПД после спринтерского бега, оценка двигательной подготовленности (ОДП),  $W_1$ , МС, результаты челночного бега, прыжка в длину, бега на 20 м с хода, 6-минутного бега. Большинство из перечисленных выше показателей характеризовались средней степенью корреляции с рассматриваемым фактором. Самую существенную статистическую взаимосвязь с ним имели ИНПД после спринтерского бега ( $r = -0,93$ ) и ОДП ( $r = 0,75$ ).

Фактор работоспособности, связанный с лактаcidной системой энергообеспечения (8 % дисперсии), объединил  $t_{5 \text{ Вт/кг}}$ ,  $W_{40'}$ ,  $W_{240'}$ , ИНПД<sub>5 Вт/кг</sub>, результаты выполнения теста на поднятие туловища. Максимальными значениями факторных коэффициентов отличались  $t_{5 \text{ Вт/кг}}$  ( $r = 0,91$ ) и  $W_{40'}$  ( $r = 0,91$ ).

**ТАБЛИЦА 1**  
**ФАКТОРНАЯ СТРУКТУРА ФИЗИЧЕСКОЙ**  
**РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОДРОСТКОВ МУЖСКОГО**  
**ПОЛА 13–14 ЛЕТ**

**TABLE 1**  
**FACTOR STRUCTURE OF PHYSICAL PERFORMANCE**  
**OF MALE ADOLESCENTS AGED 13–14 YEARS**

Показатели	Факторы				
	I	II	III	IV	V
Коэффициент «b», отн. ед.	0,981	–	–	–	–
$t_{3 \text{ Вт/кг}}^c$	0,966	–	–	–	–
$W_{900^r}$ Вт/кг	0,901	–	–	–	–
Коэффициент «a», отн. ед.	0,871	–	–	–	–
$W_{240^r}$ Вт/кг	0,766	–	–	–	–
$\text{ИНПД}_{t_{3 \text{ Вт/кг}}^c}$ уд/с	–0,686	–	–	–	–
Бег 6 мин, м	0,508	–	–	–	–
$\text{VO}_2\text{max}$ , л/мин	–	–0,938	–	–	–
ВтП, кгм/уд	–	–0,937	–	–	–
$\text{PWC}_{170^r}$ кгм/мин	–	–0,925	–	–	–
ИНПД (спринтерский бег), уд/с	–	–	–0,926	–	–
ОДП, балл	–	–	0,746	–	–
Челночный бег, с	–	–	–0,710	–	–
Прыжок, см	–	–	0,675	–	–
$W_1$ , Вт/кг	–	–	0,632	–	–
МС, кг/кг	–	–	0,632	–	–
Бег 20 м, с	–	–	–0,603	–	–
Бег 6 мин, м	–	–	0,515	–	–
$t_{5 \text{ Вт/кг}}^c$	–	–	–	0,913	–
$W_{40^r}$ Вт/кг	–	–	–	0,909	–
Поднимание туловища за 1 мин, раз	–	–	–	0,782	–
$W_{240^r}$ Вт/кг	–	–	–	0,539	–
$\text{ИНПД}_{t_{5 \text{ Вт/кг}}^c}$ уд/с	–	–	–	–0,508	–
$\text{VO}_2\text{max}$ , л/мин*кг	–	–	–	–	0,856
ВтП, кгм/уд*кг	–	–	–	–	0,845
$\text{PWC}_{170^r}$ кгм/мин*кг	–	–	–	–	0,746
Дисперсия, %	38	17	13	8	5

**Примечание.** ОДП – оценка двигательной подготовленности.

С учётом результатов многомерного статистического анализа оценивалось влияние полового созревания на показатели работоспособности, вошедшие в каждый из факторов. Выявлены различия, обусловленные степенью полового созревания (табл. 2).

В зависимости от СПС между большинством переменных, вошедших в фактор аэробной ёмкости, выявлены

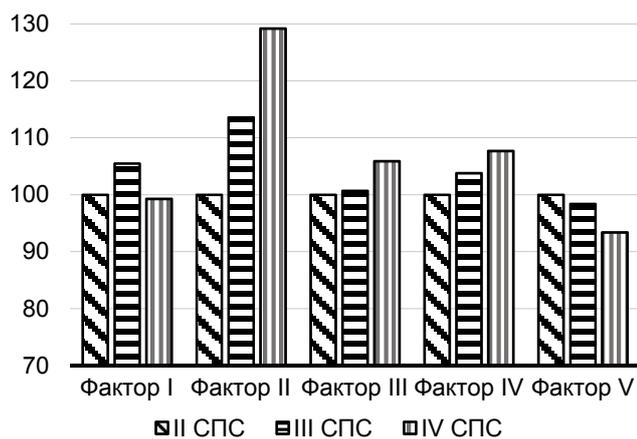
статистически значимые различия ( $p < 0,05–0,001$ ). По отдельным показателям между II и III СПС с одной стороны и IV СПС с другой наблюдались различия (табл. 2). При этом у мальчиков с III СПС по сравнению со II СПС и особенно IV СПС отмечались их более высокие значения. Важно отметить, что подростки с III СПС характеризовались высокой обобщённой оценкой аэробной ёмкости (рис. 1).

**ТАБЛИЦА 2**  
**ПОКАЗАТЕЛИ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ**  
**(M ± M), ОТНОСЯЩИЕСЯ К РАЗЛИЧНЫМ ФАКТОРАМ,**  
**У ПОДРОСТКОВ 13–14 ЛЕТ С РАЗНЫМИ СТАДИЯМИ**  
**ПОЛОВОГО СОЗРЕВАНИЯ**

**TABLE 2**  
**PHYSICAL PERFORMANCE PARAMETERS (M ± M) RELATED**  
**TO DIFFERENT FACTORS IN ADOLESCENTS**  
**AGED 13–14 YEARS AT DIFFERENT STAGES OF PUBERTY**

Показатели	СПС		
	II	III	IV
<b>Фактор 1 (аэробная ёмкость)</b>			
Коэффициент «b», отн. ед.	12,5 ± 0,3**	12,7 ± 0,3	11,5 ± 0,3 <sup>x</sup>
t <sub>3 ВТ/кг<sup>с</sup></sub>	838,5 ± 46,8*	988,3 ± 54,0 <sup>+</sup>	628,5 ± 80,3 <sup>x</sup>
Коэффициент «а», отн. ед.	5,5 ± 0,2**	5,5 ± 0,2	4,8 ± 0,2 <sup>x</sup>
W <sub>90<sup>0</sup></sub> , Вт/кг	2,8 ± 0,1	2,8 ± 0,1	2,6 ± 0,1 <sup>x</sup>
W <sub>240<sup>0</sup></sub> , Вт/кг	3,6 ± 0,1	3,8 ± 0,1 <sup>++</sup>	3,5 ± 0,1 <sup>xxx</sup>
ИНПД <sub>3 ВТ/кг<sup>с</sup></sub> уд/с	0,4 ± 0,1**	0,5 ± 0,1	0,7 ± 0,1
Бег 6 мин, м	1261,9 ± 17,8*	1275,3 ± 18,7	1319,0 ± 13,9
<b>Фактор 2 (абсолютная аэробная мощность)</b>			
VO <sub>2max</sub> , л/мин	2055,6 ± 38,1 <sup>***</sup>	2184,5 ± 43,1 <sup>+</sup>	2539,0 ± 48,7 <sup>xxx</sup>
ВТП, кгм/уд	7,8 ± 0,2 <sup>***</sup>	9,8 ± 0,2 <sup>+++</sup>	10,7 ± 0,3 <sup>x</sup>
PWC <sub>170<sup>0</sup></sub> кгм/мин	542,8 ± 18,5 <sup>***</sup>	591,4 ± 15,8 <sup>+</sup>	755,1 ± 29,2 <sup>xxx</sup>
<b>Фактор 3 (анаэробная алактатная способность)</b>			
ИНПД (спринт), уд/с	14,5 ± 0,6*	14,3 ± 0,6	16,7 ± 0,7 <sup>x</sup>
Челночный бег 4 × 9 м, с	10,5 ± 0,1*	10,4 ± 0,1	10,3 ± 0,1
ОДП, балл	18,8 ± 0,4 <sup>***</sup>	19,3 ± 0,4 <sup>+++</sup>	21,7 ± 0,4
Прыжок в длину, см	173,0 ± 1,9 <sup>***</sup>	176,7 ± 2,8	190,9 ± 1,6 <sup>xxx</sup>
W <sub>1<sup>0</sup></sub> , Вт/кг	10,3 ± 0,4	10,5 ± 0,3	11,5 ± 0,4 <sup>x</sup>
МС, кг/кг	1,60 ± 0,03**	1,61 ± 0,03	1,74 ± 0,04 <sup>x</sup>
Бег 20 м, с	3,78 ± 0,03 <sup>***</sup>	3,74 ± 0,04	3,47 ± 0,02 <sup>xxx</sup>
Бег 6 мин, м	1261,9 ± 17,8*	1275,3 ± 18,7	1319,0 ± 13,9
<b>Фактор 4 (анаэробная гликолитическая способность)</b>			
t <sub>5 ВТ/кг<sup>с</sup></sub>	42,4 ± 2,3	46,7 ± 2,8	46,3 ± 3,6
W <sub>40<sup>0</sup></sub> , Вт/кг	5,0 ± 0,1	5,1 ± 0,1	5,1 ± 0,1
Поднимание туловища, раз	45,4 ± 1,0**	44,6 ± 1,2	40,2 ± 1,5 <sup>x</sup>
W <sub>240<sup>0</sup></sub> , Вт/кг	3,6 ± 0,1	3,8 ± 0,1 <sup>++</sup>	3,5 ± 0,1 <sup>xxx</sup>
ИНПД <sub>5 ВТ/кг<sup>с</sup></sub> уд/с	3,72 ± 0,27*	3,75 ± 0,26	4,59 ± 0,27 <sup>x</sup>
<b>Фактор 5 (относительная аэробная мощность)</b>			
VO <sub>2max</sub> , мл/мин × кг	51,2 ± 1,0 <sup>***</sup>	47,1 ± 0,9 <sup>++</sup>	44,4 ± 0,9
ВТП, кгм/уд × кг	0,195 ± 0,004	0,212 ± 0,004 <sup>++</sup>	0,187 ± 0,005 <sup>xxx</sup>
PWC <sub>170<sup>0</sup></sub> кгм/мин × кг	13,5 ± 0,5	12,8 ± 0,3	13,2 ± 0,5

**Примечание.** \*\*\*,\*\*\* – статистическая значимость различий между II и IV СПС; +, ++, +++ – между II и III СПС; <sup>x</sup>, <sup>xx</sup>, <sup>xxx</sup> – между III и IV СПС при p < 0,05, 0,01 и 0,001 соответственно.



**РИС. 1.** Интегральные показатели физической работоспособности подростков с разными стадиями полового созревания (СПС): за 100 % приняты интегральные оценки у подростков со II СПС

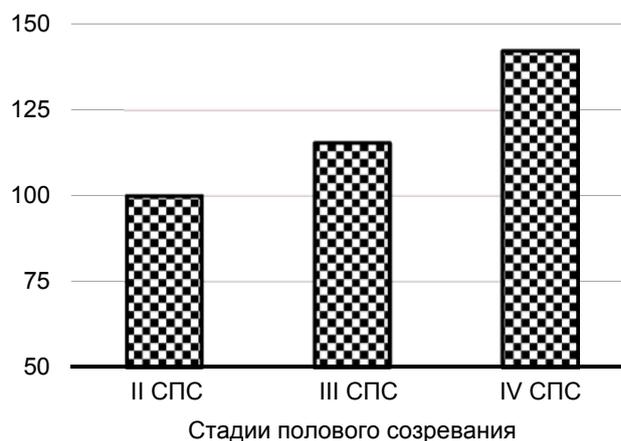
**FIG. 1.** Integral physical performance parameters of adolescents with different stages of puberty (СПС): integral parameters for adolescents with II stages of puberty were taken as 100 %

Физиологические переменные, связанные с факторами аэробной мощности, также зависели от стадии полового созревания. Наибольшие ( $p < 0,05-0,001$ ) величины абсолютных показателей аэробной производительности отмечались на IV СПС, а самые низкие – на II СПС (табл. 2). В противоположность этому относительные показатели аэробной работоспособности проявляли тенденцию к снижению по мере перехода от II к IV СПС, которая в отдельных случаях была статистически значимой ( $p < 0,05-0,001$ ). Сходную динамику демонстрировали и интегральные оценки абсолютной и относительной аэробной мощности.

Более низкие относительные величины  $VO_{2max}$  у подростков 13–14 лет с IV СПС, вероятно, отражают существенное увеличение массы тела и временное уменьшение пропускной способности кислород-транспортной системы, которое в этот период может лишь частично компенсироваться улучшением функционирования системы регуляции вегетативных функций.

Это заключение в частности базируется на анализе полученных нами данных, показывающих, что средние величины массы тела у подростков 13–14 лет статистически значимо ( $p = 0,000$ ) повышаются с увеличением стадии полового созревания, причём обучающиеся со II СПС характеризовались ниже среднего и средней, с III СПС – выше среднего, с IV СПС – высокой оценкой рассматриваемого показателя.

Важно отметить, что средние значения у подростков со II СПС были близки к средним показателям для возраста 12 лет, у подростков с III СПС – для 13 лет, у подростков с IV СПС – для 15 лет [16]. Наиболее выраженные различия обнаружены при сравнении III и IV СПС (рис. 2).



**РИС. 2.** Показатель массы тела (%) у подростков с разными стадиями полового созревания (СПС): за 100 % приняты средние величины массы тела у подростков со II СПС

**FIG. 2.** Body weight (%) in adolescents at different stages of puberty (СПС): the average values of body weight in adolescents with II stage of puberty were taken as 100 %

Сравнение показателей, связанных с фактором анаэробной алактатной работоспособности, выявило общую направленность их улучшения ( $p < 0,05-0,001$ ) с увеличением стадии полового созревания (табл. 2). Сходная динамика проявилась и в изменениях интегральной оценки анаэробной алактатной работоспособности (рис. 1).

Анализ динамики показателей, включённых в фактор анаэробной гликолитической работоспособности, выявил слабую тенденцию более высоких значений ряда физиологических переменных, характеризующих возможности лактаcidного источника, у подростков с IV СПС по сравнению с подростками со II СПС (табл. 2). Однако статистически значимые различия ( $p < 0,05$ ) обнаружены только в отношении  $И\text{НПД}_{5\text{ ВТ/кг}}$ . Исключение составляет противоположно направленная динамика результатов теста поднимания туловища, отражающая, по-видимому, не преобразование анаэробной энергетики в процессе полового созревания, а опережающее нарастание массы туловища и увеличение плеча рычага действия мышечной тяги при выполнении данного контрольного упражнения во время пубертатного скачка роста. В целом прогрессивные изменения анаэробных гликолитических возможностей подростков хорошо иллюстрирует динамика интегральных показателей физической работоспособности в процессе полового созревания (рис. 1). Полученные материалы подтверждают сложившееся в возрастной физиологии, физиологии мышечной деятельности и профилактической медицине представление о том, что развитие анаэробных алактатных и анаэробных гликолитических возможностей организма значительно ускоряется на завершающих стадиях полового созревания.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы исследования свидетельствуют о том, что наибольшие факторные нагрузки в структуре физической работоспособности подростков 13–14 лет имеют параметры аэробных, анаэробных гликолитических, анаэробных алактатных возможностей организма и показатели связанных с ними двигательных способностей. Выделенные факторы ассоциируются с зонами относительной мощности В.С. Фарфеля: ёмкость и мощность окислительной системы характеризуют функциональную подготовленность к выполнению мышечной деятельности умеренной и большой мощности, анаэробная гликолитическая способность – результативность реализации нагрузки субмаксимальной мощности, анаэробная алактатная способность – возможность выполнения работы максимальной мощности. Важно отметить, что с рассматриваемыми факторами взаимосвязаны и показатели развития кондиционных двигательных способностей обучающихся.

На долю трёх факторов, характеризующих аэробную работоспособность, приходилось более 60 % общей дисперсии выборки. Это аэробная ёмкость, абсолютная и относительная аэробная мощность. Аэробная мощность, как известно, определяет интенсивность работы и отражает наибольшую скорость образования аденозинтрифосфата (АТФ) за счёт данного источника энергообеспечения, аэробная ёмкость лимитирует объем выполняемой работы и характеризует общее количество АТФ, которое можно ресинтезировать за счёт имеющихся запасов энергетических субстратов [17]. Динамика показателей ёмкости аэробных и анаэробных процессов, в отличие от показателей мощности, в онтогенетическом аспекте практически не изучена [2]. Вместе с тем полученные результаты определяют необходимость оценки аэробной работоспособности подростков не только на основе традиционных показателей мощности, но и метаболической ёмкости. В качестве информативных показателей аэробной ёмкости можно использовать коэффициент «b» уравнения Мюллера и время удержания нагрузки мощностью 3 Вт/кг. Эти физиологические переменные, как показали наши исследования, обладают высокой факторной валидностью.

Наличие двух относительно независимых факторов, связанных с мощностью аэробного источника энергообеспечения мышечной деятельности у подростков, по-видимому, обусловлено тем, что абсолютные показатели аэробной производительности организма в значительной степени повышаются вследствие резкого увеличения общей массы тела во время пубертатного скачка роста и мало отражают реальные изменения в системе транспорта и утилизации кислорода (рис. 2). В противоположность этому относительные показатели характеризуют подлинное изменение аэробных возможностей в процессе полового созревания. Поэтому в качестве информативных параметров аэробной мощности целесообразно использовать величины  $VO_{2max}$  и ВтП, отнесённые к массе тела. Эти результаты находят в полном соответствии с данными других исследований, по-

казавших, что в пубертатном периоде наблюдается увеличение абсолютных величин  $VO_{2max}$ , связанное главным образом с нарастанием массы скелетных мышц, тогда как относительные величины этого показателя мало изменяются [2, 6 и др.].

Анаэробная работоспособность представлена двумя факторами. На их долю приходилось более 21 % общей дисперсии выборки. Фактор анаэробной алактатной работоспособности включал показатели, отражающие максимальную мощность и эффективность выполнения предельно интенсивной анаэробной нагрузки, а также уровень развития скоростно-силовых, силовых и скоростных двигательных способностей. Высокой информативностью по отношению к данному фактору отличались ИНПД после спринтерского бега и общая оценка двигательной подготовленности.

Фактор анаэробной гликолитической работоспособности включал показатели, связанные с соответствующим источником энергообеспечения и уровнем развития силовой выносливости. Наиболее информативными переменными оказались продолжительность удержания нагрузки 5 Вт/кг и мощность работы, максимальное время реализации которой составляет 40 с.

Установлено, что величины физиологических показателей, связанных с выделенными факторами физической работоспособности, зависели от стадии полового созревания. Известно, что изменения физической работоспособности и мышечной энергетике в пубертатном периоде контролируются половыми гормонами, влияющими на формирование механизмов энергообеспечения и метаболические возможности скелетной мускулатуры. В этот период у мужчин тестостерон дополняет анаболические эффекты гормона роста [6]. Он играет ключевую роль в регуляции физической работоспособности и двигательной подготовленности на различных стадиях полового созревания: оказывает влияние на состав тела, развитие костной ткани, аэробные и анаэробные возможности, мышечную силу, функции системы кровообращения, активность мышечных ферментов, использование энергетических субстратов, эритропоэз [3, 6, 8, 18]. Важно отметить, что в процессе полового созревания концентрация циркулирующего тестостерона у мужчин повышается, при этом между циркулирующим тестостероном, мышечной массой и силой, а также циркулирующим гемоглобином отмечается зависимость типа «доза-реакция» [8].

Результаты исследования, показывающие, что с увеличением СПС показатели аэробной мощности и ёмкости изменяются разнонаправленно, согласуются с данными других работ. Установлено, что в препубертатном периоде и в начале полового созревания физическая работоспособность детей увеличивается главным образом на основе интенсивного развития аэробного механизма энергообеспечения. На начальных стадиях полового созревания в скелетных мышцах наблюдается и более высокий процент волокон I типа, обеспечивающих реализацию физической активности преимущественно посредством аэробного ресинтеза АТФ [14, 19, 20]. Мощность аэробной системы в это время существенно возраста-

ет, в частности за счёт усиленного развития капиллярной сети, увеличения в скелетных мышцах количества митохондрий по отношению к площади миофибрилл, активности окислительных ферментов [2, 21]. Дальнейшее повышение работоспособности по мере полового созревания происходит преимущественно за счёт интенсивного развития анаэробных механизмов энергообеспечения, на фоне слабо выраженной динамики относительной аэробной мощности [2, 22, 23].

Полученные нами данные о высоких показателях аэробной ёмкости у подростков мужского пола с III СПС находят подтверждение в научной литературе. Показано, что на этой стадии отмечается увеличение функциональных возможностей системы транспорта и утилизации кислорода, связанное с процессами роста и развития организма. В этот период интенсивно растут сердце и лёгкие, увеличиваются систолический объём, объёмная скорость кровотока, жизненная ёмкость лёгких. Всё это создаёт благоприятные условия для улучшения снабжения тканей кислородом и развития механизмов энергообеспечения мышечной деятельности [24]. На III СПС отмечается первая фаза мышечных пубертатных дифференцировок, способствующих проявлению у большинства мышечных волокон явных «черт аэробного метаболизма»: увеличиваются размер и количество митохондрий, растёт активность окислительных ферментов [2, 24]. Композиция скелетных мышц трансформируется в сторону увеличения доли волокон I типа, происходит временное повышение мощности аэробного порога и соответствующее расширение зоны аэробного энергообеспечения [2]. Предполагается, что это во многом связано с изменениями эндокринных функций, возможностей кислородтранспортной системы и организации тканевой энергетики. Так, например, хорошо известны данные о взаимосвязи концентрации циркулирующего тестостерона со сроками и проявлениями полового созревания у подростков мужского пола. Характерные клинические признаки маскулинизации, такие как рост мышечной массы, увеличение длины тела, оволосение тела, изменение голоса, повышение уровня гемоглобина, проявляются только тогда, когда концентрация циркулирующего тестостерона в середине полового созревания достигает уровня взрослых мужчин [8]. Вследствие этого происходит существенное увеличение количества гемоглобина, что обеспечивает биологический эффект возрастания кислородной ёмкости крови, усиления транспорта кислорода к тканям и увеличения аэробных энергозатрат [6, 8], при этом между изменениями уровня гемоглобина и аэробной работоспособностью существует линейная зависимость. Возможно, тестостерон в этих условиях способствует увеличению расхода энергии из-за усиленного митохондриального биогенеза в скелетных мышцах [25], а также регулирует аэробную способность скелетных мышц посредством усиления экспрессии миоглобина [26]. Значительное возрастание аэробной ёмкости на III СПС может быть обусловлено изменениями уровня кортизола [6] и активности щитовидной железы, вызывающей активацию окислительного метаболизма мышц [7, 14, 27].

Развитие анаэробного алактатного и анаэробно-гликолитического механизмов в ходе пубертатного периода происходит как синхронно, так и гетерохронно, что определяет структуру энергетических процессов и специфику формирования связанных с ними двигательных способностей. Наиболее выраженный рост анаэробных возможностей отмечается на завершающих стадиях полового созревания, когда складывается дефинитивная структура энергетического обеспечения мышечной деятельности [11, 22, 23]. Развитие анаэробных источников в значительной степени происходит во взаимосвязи с изменениями базальных концентраций половых гормонов и зависит от стадии полового созревания [6, 8, 11]. По имеющимся данным, при переходе от начальных к завершающим СПС под воздействием мужских половых гормонов в скелетных мышцах отмечается увеличение активности ключевых ферментов анаэробного гликолиза и возрастание толщины волокон IIВ подтипа (быстрых гликолитических) [2, 3, 8]. На основе использования Вингейтского теста выявлено существенное увеличение анаэробной мощности у мальчиков в ходе полового созревания [18], при этом обнаружена средняя степень корреляции между пиковой и средней анаэробной мощностью с одной стороны и уровнем тестостерона с другой [28]. Положительная взаимосвязь выявлена между биологическим созреванием и пиковой анаэробной мощностью [11]. Показано также, что двигательная подготовленность подростков мужского пола улучшается в процессе полового созревания [13]. Различия между СПС проявляются прежде всего в отношении силовых и скоростно-силовых способностей [4]. С нарастанием степени половой зрелости не только улучшаются двигательные способности, но и резко увеличиваются длина и масса тела [4]. Значительные различия по антропометрическим показателям позволяют с высокой точностью предсказать стадию полового созревания на основе изменений физического развития [29]. В целом у подростков с IV СПС заметно расширяются границы зон максимальной и субмаксимальной относительной мощности.

Выявленные нами различия в физическом состоянии подростков одного паспортного возраста в значительной мере отражают классические варианты индивидуального морфофункционального развития – обычное, замедленное (индивидуальная ретардация) и ускоренное (индивидуальная акселерация) [15, 30]. В последних двух случаях развитие может быть гармоничным и негармоничным. При негармоничной индивидуальной акселерации, например, может наблюдаться временное уменьшение функциональных возможностей кислородтранспортной системы, снижение эффективности её реакций на стандартные и максимальные физические нагрузки [15].

Как отмечалось выше, темпы полового созревания оказывают заметное влияние на структуру работоспособности и мышечной энергетики. Имеются сведения о том, что у индивидуумов с замедленными темпами полового созревания отмечается более высокая эффективность аэробного источника энергообеспечения мы-

шечной деятельности [6, 20, 30], а при ускоренных темпах созревания – повышенная эффективность анаэробного гликолитического источника ресинтеза АТФ [6, 22]. У подростков с низкими темпами полового созревания в скелетной мускулатуре наблюдается более высокий процент окислительных мышечных волокон (I тип), характеризующихся преобладанием аэробного источника энергообеспечения мышц [1, 19, 20], повышенная плотность митохондрий и более высокая активность окислительных ферментов [1, 11, 20]. Отражением этого и может служить описанная в нашем исследовании тенденция временного снижения относительной величины  $\dot{V}O_2\max$  у подростков 13–14 лет с III и особенно IV СПС по отношению ко II стадии. В целом предполагается, что у лиц с высокими темпами полового созревания активность ферментов анаэробного гликолиза выше, чем у лиц с низкими темпами созревания, тогда как активность аэробных ферментов, наоборот, выше у подростков с низкими темпами полового созревания по сравнению с субъектами с опережающим созреванием [11].

Полученные результаты показывают, что у обучающихся одного календарного возраста с разным уровнем половой зрелости может отмечаться выраженная специфика развития мышечной энергетики и работоспособности, что необходимо учитывать в процессе школьного физического воспитания, оздоровительной и спортивной тренировки. Мальчики-подростки 13–14 лет, находящиеся на начальных стадиях полового созревания, отличаются высокой функциональной подготовленностью к выполнению физической работы аэробного характера и благоприятными условиями для эффективного развития общей выносливости, тогда как находящиеся на завершающих стадиях полового созревания – к выполнению работы анаэробного алактатного и анаэробного гликолитического характера, а также развития силовых, скоростно-силовых и скоростных способностей. Всё это свидетельствует о том, что для подростков одного паспортного возраста с высокими и замедленными темпами биологического развития должны разрабатываться отдельные нормативы оценки показателей физической работоспособности и двигательной подготовленности. Основываясь на полученных данных, необходимо в процессе физической подготовки выделять группы подростков с начальными и завершающими стадиями полового созревания. Это позволит оказывать дифференцированное «тренировочное» воздействие на развитие аэробных и анаэробных компонентов физической работоспособности и связанных с ними двигательных способностей с учётом изменения приспособительных возможностей организма в процессе полового созревания. Результаты исследования необходимо принимать во внимание при отборе валидных и надёжных показателей физической работоспособности в разных зонах относительной мощности, создании систем её комплексной оценки в широких границах доступных нагрузок, нормировании тренировочных воздействий и разработке эффективных программ занятий физическими упражнениями в период полового созревания.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании идентифицированы пять относительно независимых факторов, характеризующих физическую работоспособность подростков мужского пола 13–14 лет в широких границах доступных нагрузок: аэробная ёмкость; абсолютная аэробная мощность; анаэробная алактатная работоспособность; анаэробная гликолитическая работоспособность; относительная аэробная мощность. Эти факторы рассматриваются в качестве ключевых звеньев доминирующей функциональной системы, обеспечивающей адаптацию к напряжённой мышечной деятельности, и хорошо соотносятся с зонами относительной мощности В.С. Фарфеля.

Выявлены добротные показатели диагностики факторов аэробной и анаэробной работоспособности подростков, находящихся на разных стадиях полового созревания. Анализ физической работоспособности подростков 13–14 лет показал, что в процессе полового созревания изменения показателей, объединённых в разные факторы, происходят нелинейно и неодновременно. Полученные результаты свидетельствуют о том, что испытуемые рассматриваемой возрастной группы, находящиеся на II, III и IV стадиях полового созревания, значительно отличаются по уровню ключевых биоэнергетических критериев оценки физической работоспособности. Установлено, что с нарастанием стадии полового созревания происходят прогрессивные изменения большинства показателей анаэробной алактатной и анаэробной гликолитической работоспособности, в то время как показатели аэробной мощности и ёмкости изменяются разнонаправленно, в ряде случаев проявляя тенденцию к временному снижению. Сходным образом изменяются и связанные с рассматриваемыми факторами двигательные способности.

Полученные материалы о факторной структуре и уровне физической работоспособности обучающихся 13–14 лет необходимо учитывать при разработке мероприятий по нормированию физических нагрузок аэробного, анаэробного гликолитического и анаэробного алактатного характера в процессе систематических занятий физическими упражнениями, по оперативному, текущему и этапному контролю функционального состояния подростков с разными стадиями полового созревания. Результаты исследования могут служить основой для эффективного использования физических нагрузок различной метаболической направленности в целях повышения функциональных возможностей организма обучающихся в критический период онтогенеза, связанный с процессом полового созревания.

В заключение необходимо отметить, что в пубертатном периоде в основу комплексного контроля параметров нагрузки в процессе физического совершенствования подростков с разными стадиями полового созревания должен быть положен учёт структуры и уровня физической работоспособности, а также морфофункциональной зрелости ведущих физиологических систем организма, обеспечивающих реализацию напряжённой мышечной деятельности.

**Финансирование**

Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов**

Авторы данной статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES**

1. Tonson A, Ratel S, Le Fur Y, Vilmen C, Cozzone PJ, Bendahan D. Muscle energetics changes throughout maturation: A quantitative <sup>31</sup>P-MRS analysis. *J Appl Physiology*. 2010; 109(6): 1769-1778. doi: 10.1152/jappphysiol.01423.2009
2. Сонькин В.Д., Тамбовцева Р.В. Развитие мышечной энергетики и работоспособности в онтогенезе. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ»; 2011. [Sonkin VD, Tambovtseva RV. *Development of muscular energy and working capacity in ontogeny*. Moscow: LIBROKOM; 2011. (In Russ.)].
3. Armstrong N, Barker AR, McManus AM. Muscle metabolism changes with age and maturation: How do they relate to youth sport performance? *Br J Sports Med*. 2015; 49(13): 860-864. doi: 10.1136/bjsports-2014-094491
4. Lesinski M, Schmelcher A, Herz M, Puta C, Gabriel H, Arampatzis A, et al. Maturation-, age-, and sex-specific anthropometric and physical fitness percentiles of German elite young athletes. *PLoS One*. 2020; 15(8): e0237423. doi: 10.1371/journal.pone.0237423
5. Фарбер Д.А., Безруких М.М. Методологические аспекты изучения физиологии развития ребенка. *Физиология человека*. 2001; 27(5): 8-16. [Farber DA, Bezrukikh MM. Methodological aspects of studying the physiology of child development. *Human Physiology*. 2001; 27(5): 8-16. (In Russ.)].
6. Goswami B, Singha Roy A, Dalui R, Bandyopadhyay A. Impact of pubertal growth on physical fitness. *Am J Sports Sci Med*. 2014; 2(5A): 34-39. doi: 10.12691/ajssm-2-5A-8
7. Wang Y, He D, Fu C, Dong X, Jiang F, Su M, et al. Thyroid function changes and pubertal progress in females: A longitudinal study in iodine-sufficient areas of East China. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2021; 12: 653680. doi: 10.3389/fendo.2021.653680
8. Handelsman DJ, Hirschberg AL, Bermon S. Circulating testosterone as the hormonal basis of sex differences in athletic performance. *Endocr Rev*. 2018; 39(5): 803-829. doi: 10.1210/er.2018-00020
9. Судаков К.В. *Функциональные системы*. М.: Издательство Российской академии наук; 2011. [Sudakov KV. *Functional systems*. Moscow: Publishing house of the Russian Academy of Sciences; 2011. (In Russ.)].
10. Криволапчук И.А., Мышьяков В.В. Особенности факторной структуры физической работоспособности мальчиков и девочек 9–10 лет. *Гигиена и санитария*. 2017; 8: 759-765. [Krivolapchuk IA, Myshyakov VV. Peculiarities of the factor structure of physical working capacity in boys and girls aged of 9–10 years. *Hygiene and Sanitation*. 2017; 96(8): 759-765. (In Russ.)]. doi: 10.47470/0016-9900-2017-96-8-759-765
11. De Almeida-Neto PF, Silva LFD, Miarka B, De Medeiros JA, de Medeiros RCDSC, Teixeira RPA, et al. Influence of advancing biological maturation on aerobic and anaerobic power and on sport performance of junior rowers: A longitudinal study. *Front Physiol*. 2022; 13: 892966. doi: 10.3389/fphys.2022.892966
12. Baxter-Jones AD, Eisenmann JC, Sherar LB. Controlling for maturation in pediatric exercise science. *Pediatr Exercise Sci*. 2005; 17: 18-30. doi: 10.1123/pes.17.1.18
13. Manzano-Carrasco S, Garcia-Unanue J, Lopez-Fernandez J, Hernandez-Martin A, Sanchez-Sanchez J, Gallardo L, et al. Differences in body composition and physical fitness parameters among prepubertal and pubertal children engaged in extracurricular sports: The active health study. *Eur J Public Health*. 2022; 32(1): i67-i72. doi: 10.1093/eurpub/ckac075
14. 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): 42-46. [Kornienko IA, Sonkin VD, Tambovtseva RV. Age-related development of the energetics of muscular activity: Results of a 30-year study. Message I. Structural and functional rearrangements. *Human Physiology*. 2005; 31(4): 42-46. (In Russ.)].
15. Тихвинский С.Б., Хрущев С.В. (ред.). *Детская спортивная медицина*. М.: Медицина; 1991. [Tikhvinsky SB, Khrushchev SV (eds). *Children's sports medicine*. Moscow: Meditsina; 1991. (In Russ.)].
16. Кучма В.Р., Скоблина Н.А., Милушкина О.Ю. (ред.). *Физическое развитие детей и подростков Российской Федерации. Выпуск VII*. М.: Литтера; 2019. [Kuchma VR, Skoblina NA, Milushkina OYu (eds). *Physical development of children and adolescents of the Russian Federation. Issue VII*. Moscow: Littera; 2019. (In Russ.)].
17. Волков Н.И., Олейников В.И. *Биоэнергетика спорта*. М.: Советский спорт; 2011. [Volkov NI, Oleinikov VI. *Bioenergetics of sports*. Moscow: Sovetskiy sport; 2011. (In Russ.)].
18. Falk B, Bar-Or O. Longitudinal changes in peak aerobic and anaerobic mechanical power in circumpubertal boys. *Pediatr Exercise Sci*. 1993; 5: 318-331. doi: 10.1123/pes.5.4.318
19. Kriketos AD, Baur LA, O'Connor J, Carey D, King S, Catterson ID, et al. Muscle fibre type composition in infant and adult populations and relationships with obesity. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 1997; 21(9): 796-801. doi: 10.1038/sj.ijo.0800476
20. Ratel S, Blazevich AJ. Are prepubertal children metabolically comparable to well-trained adult endurance athletes? *Sports Med*. 2017; 47(8): 1477-1485. doi: 10.1007/s40279-016-0671-1
21. Birat A, Bourdier P, Piponnier E, Blazevich AJ, Maciejewski H, Duché P, et al. Metabolic and fatigue profiles are comparable between prepubertal children and well-trained adult endurance athletes. *Front Physiol*. 2018; 9: 387. doi: 10.3389/fphys.2018.00387
22. Rowland TW. Children's exercise physiology. In: *Human Kinetics*. 2005; 79-80.
23. McNarry MA, Barker AR. Aerobic and anaerobic metabolism. In: *Elite Youth Cycling*. Oxon: Routledge. 2018: 49-69. doi: 10.4324/9781315110776-3
24. Безруких М.М., Сонькин В.Д., Фарбер Д.А. *Возрастная физиология (физиология развития)*. М.: Издательский центр «Академия»; 2003. [Bezrukikh MM, Sonkin VD, Farber DA. *Age physiology (developmental physiology)*. Moscow: Akademiya; 2003. (In Russ.)].
25. Usui T, Kajita K, Kajita T, Mori I, Hanamoto T, Ikeda T, et al. Elevated mitochondrial biogenesis in skeletal muscle is associated with testosterone-induced body weight loss in male mice. *FEBS Lett*. 2014; 588(10): 1935-1941. doi: 10.1016/j.febslet.2014.03.051

26. Mänttari S, Anttila K, Järvilehto M. Testosterone stimulates myoglobin expression in different muscles of the mouse. *J Comp Physiol B*. 2008; 178(7): 899-907. doi: 10.1007/s00360-008-0280-x
27. Taylor PN, Sayers A, Okosieme O, Das G, Draman MS, Tabasum A, et al. Maturation in serum thyroid function parameters over childhood and puberty: Results of a longitudinal study. *J Clin Endocrinol Metab*. 2017; 102(7): 2508-2515. doi: 10.1210/jc.2016-3605
28. Falgairette G, Bedu M, Fellmann N, Spielvogel H, Van Praagh E, Obert P, et al. Evaluation of physical fitness from field tests at high altitude in circumpubertal boys: Comparison with laboratory data. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1994; 69(1): 36-43. doi: 10.1007/BF00867925
29. Medeiros RM, Arrais RF, Azevedo JC, de Andrade RD, Pinto VC, Ronque ER, et al. Prediction of pubertal maturation from anthropometric variables: Proposal for a non-invasive method. *J Sports Med Phys Fitness*. 2018; 58(5): 638-643. doi: 10.23736/S0022-4707.17.06564-1
30. Moore SA, McKay HA, Macdonald H, Nettlefold L, Baxter-Jones AD, Cameron N, et al. Enhancing a somatic maturity prediction model. *Med Sci Sports Exerc*. 2015; 47(8): 1755-1764. doi: 10.1249/MSS.0000000000000588

#### Сведения об авторах

**Криволапчук Игорь Альберович** – доктор биологических наук, руководитель лаборатории физиологии мышечной деятельности и физического воспитания, ФГБНУ «Институт развития, здоровья и адаптации ребёнка»; профессор кафедры теории и методологии спорта и физического воспитания, ГАОУ ВО г. Москвы «Московский государственный университет спорта и туризма»; профессор кафедры физического воспитания, ФГБОУ ВО «Государственный университет управления», e-mail: i.krivolapchuk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8628-6924>

**Чернова Мария Борисовна** – кандидат педагогических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории физиологии мышечной деятельности и физического воспитания, ФГБНУ «Институт развития, здоровья и адаптации ребёнка», e-mail: mashacernova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1253-9842>

**Сухецкий Валерий Константинович** – доцент кафедры спортивных дисциплин, УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», e-mail: vsukhetski@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5710-3583>

**Чичерин Вадим Петрович** – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой физического воспитания, ФГБОУ ВО «Государственный университет управления», e-mail: vp\_chicherin@guu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4884-4635>

#### Information about the authors

**Igor A. Krivolapchuk** – Dr. Sc. (Biol.), Head of the Laboratory of Physiology of Muscle Activity and Physical Education, Institute of Child Development, Health and Adaptation; Professor at the Department of Theory and Methodology of Sports and Physical Education, Moscow State University of Sport and Tourism; Professor at the Department of Physical Education, The State University of Management, e-mail: i.krivolapchuk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8628-6924>

**Maria B. Chernova** – Cand. Sc. (Ped.), Docent, Senior Research Officer at the Laboratory of Physiology of Muscle Activity and Physical Education, Institute of Child Development, Health and Adaptation, e-mail: mashacernova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1253-9842>

**Valerij K. Suheckij** – Associate Professor at the Department of Sports Disciplines, Yanka Kupala State University of Grodno, e-mail: vsukhetski@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5710-3583>

**Vadim P. Chicherin** – Cand. Sc. (Biol.), Docent, Head of the Department of Physical Education, The State University of Management, e-mail: vp\_chicherin@guu.ru; <https://orcid.org/0000-0003-4884-4635>