

Научная статья

УДК [612.66+612.16+612.216.2]:796

DOI: 10.37482/2687-1491-Z186

## Возрастные особенности аэробных возможностей организма у спортсменов с разной направленностью физических нагрузок

Альбина Зуфаровна Даутова\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3069-2178>

Алексей Анатольевич Зверев\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2555-1728>

Гульнара Гумеровна Янышева\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4704-4011>

Андрей Сергеевич Назаренко\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3067-8395>

Валентина Гусмановна Шамратова\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7633-4264>

\*Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма  
(Казань, Россия)

\*\*Башкирский государственный медицинский университет  
(Уфа, Россия)

**Аннотация.** Цель статьи – выявить возрастные особенности аэробной работоспособности у спортсменов, развивающих выносливость или скоростно-силовые качества. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 103 спортсмена мужского пола. Сформированы группы с учетом направленности физических нагрузок (выносливость ( $n = 58$ ) / скорость/сила ( $n = 45$ )) и возраста спортсменов – 12–15, 16–18 и 19–26 лет. У обследуемых определяли аэробную работоспособность с помощью кардиореспираторного нагрузочного тестирования. **Результаты.** На повышение относительного пикового потребления кислорода ( $VO_{2\text{пик}}$ ) оказывал влияние не столько возраст спортсменов, сколько направленность физической нагрузки (ANOVA:  $F = 18,1, p = 0,00004$ ). При этом на дыхательный коэффициент ( $F = 5,6, p = 0,007$ ), частоту сердечных сокращений при анаэробном пороге ( $F = 4,9, p = 0,009$ ), дыхательный объем ( $F = 7,5, p = 0,01$ ) и минутную вентиляцию легких ( $F = 6,6, p = 0,002$ ) влиял главным образом возраст. Факторный анализ позволил установить, что у спортсменов 12–15 лет в фактор спортивной направленности с отрицательным весом вошел кислородный пульс, в фактор физической работоспособности с положительными знаками – параметры дыхания. В 16–18 лет значимых корреляций переменных с фактором направленности нагрузок не обнаружено, в то же время количество связей параметров эргометрии с фактором физической работоспособности с возрастом увеличивалось. У спортсменов 19–26 лет установлены тесные связи переменных с фактором направленности нагрузок, отчетливо продемонстрирован вклад  $VO_{2\text{пик}}$  в фактор физической работоспособности. На развитие аэробной работоспособности преимущественно влияет направленность нагрузок. При этом у спортсменов 12–15 лет нагрузки с преимущественно аэробным энергообеспечением не приводят к значительному повышению  $VO_{2\text{пик}}$ . В 16–18 лет наблюдается наибольший прирост  $VO_{2\text{пик}}$ , после 18 лет рост данного показателя прекращается.

**Ответственный за переписку:** Альбина Зуфаровна Даутова, адрес: 450077, г. Казань, Деревня Универсиады, д. 35; e-mail: dautova.az@mail.ru

**Ключевые слова:** пиковое потребление кислорода, эргометрия, пубертатный период, направленность тренировочных нагрузок, скоростно-силовые виды спорта, циклические виды спорта

**Для цитирования:** Возрастные особенности аэробных возможностей организма у спортсменов с разной направленностью физических нагрузок / А. З. Даутова, А. А. Зверев, Г. Г. Янышева, А. С. Назаренко, В. Г. Шамратова // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 161-171. – DOI 10.37482/2687-1491-Z186.

Original article

## Age-Related Features of Aerobic Ability in Athletes Doing Endurance and Speed-Strength Sports

Al'bina Z. Dautova\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3069-2178>  
Aleksey A. Zverev\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2555-1728>  
Gul'nara G. Yanyшева\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4704-4011>  
Andrey S. Nazarenko\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3067-8395>  
Valentina G. Shamratova\*\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7633-4264>

\*Volga Region State University of Physical Culture, Sport and Tourism  
(Kazan, Russia)

\*\*Bashkir State Medical University  
(Ufa, Russia)

**Abstract.** The purpose of this study was to identify age-related features of aerobic capacity in athletes working on their endurance or speed-strength qualities. **Materials and methods.** The research involved 103 male athletes, who were divided into groups according to the type of physical activity (endurance ( $n = 58$ ) and strength-speed ( $n = 45$ )) and age (12–15, 16–18 and 19–26 years). Their aerobic capacity was determined using cardiorespiratory exercise testing. **Results.** It was shown that the increase in relative peak oxygen consumption ( $VO_{2peak}$ ) was influenced not so much by age as by the type of physical activity (ANOVA:  $F = 18.1$ ,  $p = 0.00004$ ). At the same time, respiratory coefficient ( $F = 5.6$ ,  $p = 0.007$ ), heart rate at anaerobic threshold ( $F = 4.9$ ,  $p = 0.009$ ), tidal volume ( $F = 7.5$ ,  $p = 0.01$ ) and minute ventilation ( $F = 6.6$ ,  $p = 0.002$ ) were influenced mainly by age. In athletes aged 12–15 years, factor analysis established a negative correlation of type of physical activity with oxygen pulse, while physical working capacity was positively correlated with breathing parameters. Subjects aged 16–18 years showed no significant correlations between the variables and type of physical activity; at the same time, the number of correlations between ergometry parameters and physical working capacity factor increased with age. In athletes aged 19–26, the variables correlated strongly with the type of physical activity; the contribution of  $VO_{2peak}$  to the physical working capacity factor is clearly demonstrated. The development of aerobic capacity is mainly influenced by the type of physical activity. However, in athletes aged 12–15 years, aerobic loads do not lead to a significant increase in  $VO_{2peak}$ . The greatest increase in  $VO_{2peak}$  is observed in 16–18-year-olds, while after 18 years of age, its growth halts.

**Corresponding author:** Al'bina Dautova, address: Derevnya Universiady 35, Kazan, 450077, Russia; e-mail: dautova.az@mail.ru

**Keywords:** *peak oxygen consumption, ergometry, puberty, type of physical activity, speed-strength sports, endurance sports*

**For citation:** Dautova A.Z., Zverev A.A., Yanysheva G.G., Nazarenko A.S., Shamratova V.G. Age-Related Features of Aerobic Ability in Athletes Doing Endurance and Speed-Strength Sports. *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 2, pp. 161–171. DOI: 10.37482/2687-1491-Z186

При адаптации к физическим нагрузкам первоочередным является формирование предпосылок к изменению параметров, напрямую взаимосвязанных с активностью обменных функций в организме человека. В первую очередь это касается аэробных биоэнергетических процессов, т. к. чем выше их активность, тем жизнеспособнее организм. В связи с этим большое практическое значение, особенно в периоды интенсивного развития организма, имеет определение индивидуального уровня максимального потребления кислорода (МПК) [1].

Наиболее важными являются сведения об аэробных биоэнергетических процессах в пубертатный период, когда в организме наблюдаются изменения темпов роста и сложнейшая перестройка всех органов и систем. Данный период, в ходе которого количественные изменения чередуются с качественными перестройками в деятельности физиологических систем организма, считается критическим этапом в онтогенезе человека. При этом существенно изменяются скорость и направленность процессов роста и развития [2, 3].

В литературе длительное время обсуждался вопрос о повышении аэробных возможностей у детей, находящихся в препубертатном и пубертатном периодах возрастного развития [4–8]. Отмечалось, что нагрузки, развивающие выносливость, в эти периоды не приводят к повышению аэробной мощности, либо приводят к незначительному улучшению пикового потребления кислорода (не более 5-6 %), что связано с гормональным статусом детей [6]. Однако опыт подготовки юных спортсменов, специализирующихся в циклических видах спорта, и современные научные исследования [4, 5, 7, 8] убедительно свидетельствуют о вы-

соких способностях детей к увеличению аэробной работоспособности.

Таким образом, выявление особенностей энергетического обеспечения мышечной деятельности человека на различных этапах онтогенеза – одна из актуальных задач возрастной и спортивной физиологии, профилактической медицины, оздоровительной физической культуры. Расширение научных представлений в данной области имеет большое значение для совершенствования методических основ физического воспитания и спортивной тренировки подрастающего поколения [9].

Цель работы – выявить возрастные особенности аэробной работоспособности у спортсменов, развивающих выносливость или скоростно-силовые качества.

**Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 103 спортсмена мужского пола в возрасте от 12 до 26 лет. Все испытуемые регулярно тренировались не менее 3 лет, были здоровы и не имели каких-либо ограничений для занятий спортом. Квалификация спортсменов – от 2-го взрослого разряда до мастера спорта Российской Федерации. Исследование проводилось в подготовительный период годичного цикла тренировки с декабря 2021 года по июнь 2022 года на базе Научно-исследовательского института физической культуры и спорта Поволжского государственного университета физической культуры, спорта и туризма. Все выполненные процедуры соответствовали этическим стандартам национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 года (редакция 2013 года). Участники исследования либо родственники/представители подписывали информированное добровольное согласие.

Сформированы две выборки спортсменов с учетом направленности физических нагрузок: развивающие скоростно-силовые качества (плавание на 50–100 м, легкая атлетика (прыжки в длину, спринт), единоборства;  $n = 45$ ); занимающиеся циклическими видами спорта и развивающие общую выносливость (лыжные гонки, академическая гребля;  $n = 58$ ). В каждой выборке спортсмены в свою очередь были разделены на группы с учетом возраста. В 1-ю группу вошли спортсмены скоростно-силовой направленности в возрасте от 12 до 15 лет (пубертатный период;  $n = 30$ ), во 2-ю – от 16 до 18 лет (постпубертатный период;  $n = 45$ ), в 3-ю – старше 18 лет (первый зрелый возраст;  $n = 28$ ); в 4–6-ю – спортсмены аналогичных возрастов, развивающие выносливость. Подробная характеристика обследованных представлена в *табл. 1*.

тредбане Saturn (HP Cosmos, Германия). Для оценки аэробной производительности у представителей остальных видов спорта использовался велоэргометр eBike (GE Healthcare, США). Нагрузка возрастала ступенчато. На тредбане Saturn: первые 2 мин было задано плавное увеличение скорости от 0 до 7 км/ч, в дальнейшем скорость плавно возрастала на 1 км/ч каждую минуту. Угол наклона беговой дорожки в ходе всего теста составлял 1°. На велоэргометре: первая ступень – 25–50 Вт в течение 1 мин, последующие ступени – с увеличением нагрузки по 2 Вт/мин. Все тесты выполнялись до отказа.

Во время нагрузки определялись относительное пиковое потребление кислорода ( $VO_{2\text{пик}}$ ), абсолютное потребление кислорода на уровне анаэробного порога ( $АнП_{VO_2}$ ); на пике

*Таблица 1*

**Анатомо-морфологическая характеристика обследованных спортсменов,  $M \pm SD$**

**Anatomical and morphological characteristics of the subjects,  $M \pm SD$**

Показатель	Спортсмены скоростно-силовой направленности			Спортсмены, развивающие выносливость		
	1-я группа (12–15 лет, $n = 14$ )	2-я группа (16–18 лет, $n = 19$ )	3-я группа (19–26 лет, $n = 12$ )	4-я группа (12–15 лет, $n = 16$ )	5-я группа (16–18 лет, $n = 26$ )	6-я группа (19–26 лет, $n = 16$ )
Рост, см	174,29±10,40	176,86±9,43	179,44±8,73	165,31±10,40	178,78±5,61	185,78±7,07
Масса, кг	62,56±10,49	67,97±11,07	70,91±10,24	53,41±10,15	64,58±5,49	81,32±15,31
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	20,50±2,21	21,62±2,30	21,96±1,73	19,35±1,98	20,16±1,41	23,38±2,92
Масса жира, %	14,16±2,68	12,80±4,07	12,69±5,04	17,62±9,90	5,62±3,54	11,90±1,66
Костная масса, кг	2,71±0,39	2,96±0,35	3,08±0,49	2,28±0,51	3,06±0,23	3,53±0,59
Мышечная масса, кг	51,11±8,16	56,03±7,40	58,70±9,63	42,15±10,36	57,83±4,98	68,01±12,13

Тестирование спортсменов проводилось в первой половине дня в предварительно хорошо проветренном помещении с поддержанием температуры воздуха 18–24 °С. В работе принимал участие врач с опытом функциональной диагностики. Для определения аэробной работоспособности у гребцов-академистов использовался тест со ступенчато-повышающейся нагрузкой на механическом гребном эргометре РМЗ (Concept II, США). Легкоатлеты выполняли ступенчатый тест на

нагрузки – дыхательный коэффициент ( $ДК_{\text{пик}}$ ), частота дыхания ( $ЧД_{\text{пик}}$ ), минутная вентиляция легких ( $VE_{\text{пик}}$ ), глубина дыхания ( $VT_{\text{пик}}$ ), кислородный пульс ( $VO_2/ЧСС$ ), вентиляционный эквивалент по  $O_2$  ( $VE/VO_2$ ) и  $CO_2$  ( $VE/VCO_2$ ) с помощью газоанализатора MetaLyzer 3B (Cortex, Германия); фиксировались значения ЧСС как при достижении анаэробного порога ( $ЧСС_{\text{ПАНО}}$ ), так и на пике нагрузки ( $ЧСС_{\text{пик}}$ ). Для анализа данных использовались усредненные значения за 30 с. Также фиксировались вре-

мя достижения  $\text{АнП}_{\text{VO}_2}(t_1)$ , время достижения  $\text{VO}_{2\text{пик}}(t_2)$  и общая продолжительность физической нагрузки ( $t_3$ ).

Статистический анализ проводился с использованием программы Statistica 10. Выборки были проверены на нормальность распределения данных при помощи критерия Шапиро–Уилка. При выполнении множественных сравнений применялся многофакторный дисперсионный анализ ANOVA. Для выявления различий между средними значениями проводился апостериорный тест Тьюки. Для обнаружения скрытых переменных, объясняющих взаимоотношения изученных параметров, использовался факторный анализ. Цифровые значения в тексте представлены в виде среднего значения ( $M$ ) и стандартного от-

клонения ( $SD$ ). Различия считались достоверными при уровне значимости  $p < 0,05$ .

**Результаты.** Для оценки влияния возраста и направленности физических нагрузок на аэробную работоспособность спортсменов был проведен многофакторный дисперсионный анализ. Влияние только направленности нагрузок ( $F = 18,1, p = 0,00004$ ) обнаружено на  $\text{VO}_{2\text{пик}}$ . У представителей скоростно-силовых видов спорта  $\text{VO}_{2\text{пик}}$  находился примерно на одном уровне, тогда как у спортсменов, тренирующих общую выносливость, наибольшее значение  $\text{VO}_{2\text{пик}}$  пришлось на постпубертатный период, статистически значимо превысив данный показатель у спортсменов 1, 2 и 3-й групп ( $p = 0,002, p = 0,0004, p = 0,018$  соответственно) (табл. 2).

Таблица 2

Результаты эргоспирометрии у спортсменов разной направленности и разного возраста  
Ergospirometry results in athletes from different sports and age groups

Показатель	Спортсмены скоростно-силовой направленности			Спортсмены, развивающие выносливость		
	1-я группа ( $n = 14$ )	2-я группа ( $n = 19$ )	3-я группа ( $n = 12$ )	4-я группа ( $n = 16$ )	5-я группа ( $n = 26$ )	6-я группа ( $n = 16$ )
$\text{VO}_{2\text{пик}}$ , мл·кг/мин	46,50±3,52 <sup>5</sup>	46,00±7,43 <sup>5</sup>	47,67±5,79 <sup>5</sup>	50,69±12,58	56,58±6,08 <sup>1-3</sup>	53,19±8,67
$\text{АнП}_{\text{VO}_2}$ , л/мин	2,22±0,58 <sup>6</sup>	2,50±0,50 <sup>6</sup>	2,25±0,65 <sup>6</sup>	1,88±0,47 <sup>5,6</sup>	2,87±0,72 <sup>4</sup>	3,20±1,10 <sup>1-4</sup>
$\text{ДК}_{\text{пик}}$	1,06±0,07	1,11±0,10	1,07±0,11	1,02±0,06 <sup>6</sup>	1,11±0,12	1,10±0,07 <sup>4</sup>
$\text{ЧСС}_{\text{ПАНО}}$ , уд/мин	150,86±17,28	155,67±10,01	138,17±24,50 <sup>5</sup>	156,13±20,74	161,06±19,6 <sup>3</sup>	147,30±16,66
$\text{ЧСС}_{\text{пик}}$ , уд/мин	176,71±12,45	175,61±12,01	176,33±14,57	185,38±9,55	177,61±13,65	176,40±18,59
$\text{VO}_2/\text{ЧСС}$ , мл	16,86±2,63 <sup>6</sup>	18,25±3,05 <sup>4,6</sup>	19,35±2,79 <sup>4,6</sup>	14,13±3,44 <sup>2,3,5,6</sup>	19,50±3,27 <sup>4,6</sup>	23,30±4,42 <sup>1-5</sup>
$\text{ЧД}_{\text{пик}}$ , цикл/мин	41,14±7,85	40,22±12,34	43,11±7,11	42,44±10,69	43,50±9,33	41,80±11,12
$\text{VE}_{\text{пик}}$ , л/мин	95,34±17,34 <sup>6</sup>	101,91±26,98	105,13±24,14	83,69±29,46 <sup>6</sup>	106,90±28,79	128,06±23,94 <sup>1,4</sup>
$\text{VT}_{\text{пик}}$ , л	2,38±0,55 <sup>6</sup>	2,62±0,68 <sup>4</sup>	2,46±0,49	2,01±0,54 <sup>2,6</sup>	2,47±0,49 <sup>6</sup>	3,13±0,42 <sup>1,4,5</sup>
$\text{VE}/\text{VO}_2$	30,15±3,41	31,05±7,24	31,98±4,34	28,97±2,94	31,64±5,75	31,89±6,16
$\text{VE}/\text{VCO}_2$	28,59±2,57	27,90±4,37	30,07±2,85	28,42±2,12	28,30±3,44	29,11±4,46
$t_1$ , с	409,41±64,93	324,60±126,66 <sup>6</sup>	386,37±196,55	494,53±140,34	450,39±175,71	523,54±221,97 <sup>2</sup>
$t_2$ , с	589,15±152,02	476,99±186,45 <sup>6</sup>	679,40±158,79	652,49±152,80	592,39±224,17	638,00±296,53 <sup>2</sup>
$t_3$ , с	594,60±160,17	495,26±185,84	730,27±164,09	665,78±149,59	600,60±240,00	638,45±153,65

Примечание: <sup>1-6</sup> – установлены статистически значимые различия с соответствующими группами спортсменов по результатам апостериорного теста Тьюки,  $p < 0,05$ .



На уровень потребления  $O_2$  при анаэробном пороге оказали влияние все изучаемые факторы (направленность нагрузок:  $F = 5,3$ ,  $p = 0,02$ ; возраст:  $F = 9,2$ ,  $p = 0,0002$ ; совместный эффект:  $F = 6,2$ ,  $p = 0,03$ ).  $АнП_{VO_2}$  было статистически значимо выше у лиц старше 18 лет, специализирующихся в видах спорта на выносливость, по сравнению со спортсменами 1-й ( $p = 0,002$ ), 2-й ( $p = 0,04$ ), 3-й ( $p = 0,007$ ) и 4-й ( $p = 0,0001$ ) групп. Спортсмены скоростно-силовых видов спорта в возрасте 16–18 лет достигали анаэробного порога статистически значимо быстрее, чем лица, специализирующиеся в видах спорта на выносливость ( $F = 5,2$ ,  $p = 0,03$ ). Таким образом, можно отметить, что у спортсменов, тренирующих общую выносливость, по мере взросления повышается аэробная работоспособность организма, тогда как у представителей скоростно-силовых видов спорта возрастная динамика аэробных биоэнергетических процессов не столь выражена.

Возраст спортсменов влиял и на такие параметры, как  $ДК_{пик}$  ( $F = 5,6$ ,  $p = 0,007$ ) и  $ЧСС_{ПАНО}$  ( $F = 4,9$ ,  $p = 0,009$ ).  $ДК_{пик}$  у спортсменов в возрасте 16–18 лет, развивающих выносливость, превышал показатель у юношей аналогичной спортивной направленности младшего возраста ( $p = 0,02$ ). Наиболее высокое значение  $ЧСС_{ПАНО}$  наблюдалось у атлетов в возрасте 16–18 лет, выполняющих преимущественно аэробные нагрузки, а наименьшее – у спортсменов скоростно-силовой направленности старшей возрастной группы ( $p = 0,014$ ).

Влияние возраста ( $F = 21,1$ ,  $p = 0,0000001$ ) и совокупное влияние факторов ( $F = 6,9$ ,  $p = 0,002$ ) было продемонстрировано в отношении  $VO_2/ЧСС$ . Апостериорный анализ позволил установить, что у спортсменов 12–15 лет, развивающих выносливость (4-я группа), значимо более низкий  $VO_2/ЧСС$  по сравнению с испытуемыми этой же спортивной группы, но старшего возраста (16–18 лет:  $p = 0,0001$ ; старше 18 лет:  $p = 0,0001$ ), а также спортсменами скоростно-силовой направленности поступбертатного ( $p = 0,005$ ) и юношеского периодов

( $p = 0,001$ ). Самое высокое значение  $VO_2/ЧСС$  наблюдалось у лиц старшей возрастной группы, специализирующихся в видах спорта на выносливость (1-я группа:  $p = 0,0001$ ; 2-я группа:  $p = 0,0002$ ; 3-я группа:  $p = 0,01$ ; 4-я группа:  $p = 0,0001$ ; 5-я группа:  $p = 0,006$ ).

Функция внешнего дыхания зависела от возраста занимающихся, а также совместного воздействия факторов. Так, на  $VT_{пик}$  влияли возраст спортсменов ( $F = 7,5$ ,  $p = 0,01$ ) и направленность тренировочной деятельности ( $F = 5,5$ ,  $p = 0,005$ ). Испытуемые старше 18 лет, находящиеся в группе тренирующих выносливость, характеризовались более глубоким дыханием во время физической нагрузки по сравнению со спортсменами 1-й ( $p = 0,03$ ), 4-й ( $p = 0,0001$ ) и 5-й ( $p = 0,04$ ) групп.

$VE_{пик}$  повышалась по мере увеличения возраста обследуемых, но при этом имела большее значение у спортсменов, тренирующих общую выносливость ( $F = 6,6$ ,  $p = 0,002$ ). В частности, у спортсменов самой старшей группы  $VE_{пик}$  составила  $128 \pm 23,94$  л/мин, что статистически значимо выше, чем у юных спортсменов, развивающих скоростно-силовые качества ( $p = 0,03$ ) или общую выносливость ( $p = 0,0009$ ).

Наиболее полно оценить отношения между признаками и выделить группы взаимосвязанных показателей позволяет факторный анализ. Его достоинство состоит в возможности выявить скрытые переменные, лежащие в основе механизмов адаптации организма к физическим нагрузкам у спортсменов разных возрастных групп с учетом специфики их спортивной деятельности.

В каждой возрастной группе было выделено по два фактора с общей долей дисперсии 53,4, 58,0 и 67,1 % (табл. 3). В группе спортсменов 12–15 лет фактор 1 (32,7 %) включил показатели легочной вентиляции ( $VE_{пик}$ ,  $VT_{пик}$ ) и время достижения анаэробного порога ( $t_1$ ). У спортсменов в возрасте 16–18 лет фактор 1 (36,3 %) объединил значительно больше показателей, характеризующих физическую работоспособность организма ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $ЧСС_{пик}$ ,  $VE_{пик}$ ,  $VE/VO_2$ ,  $VE/VCO_2$ ). В группе 19–26 лет,

Таблица 3

Факторная структура показателей физической работоспособности у спортсменов разных возрастных групп  
Factor structure of physical working capacity in athletes from different age groups

Показатель	Возрастная группа					
	12–15 лет		16–18 лет		19–26 лет	
	Фактор 1 (32,7)*	Фактор 2 (20,7)	Фактор 1 (36,3)	Фактор 2 (21,7)	Фактор 1 (39,0)	Фактор 2 (28,1)
Направленность нагрузок	-0,21	-0,74**	-0,26	-0,44	-0,30	0,75**
$VO_{2\text{пик}}$	0,58	-0,19	-0,54	-0,55	-0,78**	0,04
$АнП_{VO_2}$	0,36	0,43	-0,07	-0,94**	-0,41	0,85**
$ДК_{\text{пик}}$	0,47	0,27	-0,22	0,02	-0,80**	0,10
$t_1$	0,44	-0,59	-0,73**	-0,26	-0,59	0,24
$t_2$	0,72**	-0,43	-0,87**	0,11	-0,65	-0,33
$t_3$	0,69	-0,44	-0,85**	0,15	-0,63	-0,35
$ЧСС_{\text{ПАНО}}$	-0,40	-0,58	-0,08	-0,48	-0,75**	0,31
$ЧСС_{\text{пик}}$	0,49	-0,53	-0,77**	0,04	-0,80**	-0,40
$VO_2/ЧСС$	0,67	0,71**	-0,25	-0,76**	-0,09	0,93**
$ЧД_{\text{пик}}$	0,11	-0,05	-0,65	0,39	-0,56	-0,45
$VE_{\text{пик}}$	0,92**	0,31	-0,84**	-0,17	-0,90**	0,26
$VT_{\text{пик}}$	0,77**	0,35	-0,30	-0,61	-0,32	0,80**
$VE/VO_2$	0,64	-0,19	-0,74**	0,42	-0,71**	-0,48
$VE/VCO_2$	0,51	-0,53	-0,79**	0,48	-0,49	-0,61

Примечание: \* – в скобках указана доля дисперсии, %; \*\* – установлена статистически значимая корреляция с фактором.

в отличие от уже описанных, в факторной структуре доминирующего фактора 1 (39 %) можно отметить наличие (с высокой нагрузкой) показателя  $VO_{2\text{пик}}$ , непосредственно демонстрирующего вклад аэробной мощности организма. При этом понижение  $VO_{2\text{пик}}$  спортсменов сопряжено со снижением  $ДК_{\text{пик}}$ ,  $ЧСС_{\text{ПАНО}}$ ,  $ЧСС_{\text{пик}}$ ,  $VE_{\text{пик}}$  и  $VE/VO_2$ .

Фактор 2 у спортсменов 12–15 лет (20,7 %) со значимой корреляцией включил переменную, характеризующую направленность нагрузок, и с противоположным знаком – показатель  $VO_2/ЧСС$ . У спортсменов старше 18 лет в фактор 2 (28,1 %) с высоким положительным весом наряду с показателем, описывающим направленность нагрузок, вошли  $АнП_{VO_2}$ ,  $VO_2/ЧСС$ ,  $VT_{\text{пик}}$ . Учитывая состав переменных и знаки

корреляций, можно отметить, что при преобладании у спортсменов нагрузок, развивающих общую выносливость, повышение  $VT_{\text{пик}}$  и  $VO_2/ЧСС$  взаимосвязано с ростом абсолютного потребления  $O_2$  при анаэробном пороге. Что касается спортсменов постпубертатного периода, то здесь фактор 2 также содержит показатели  $АнП_{VO_2}$  и  $VO_2/ЧСС$  и  $VT_{\text{пик}}$ , но их вариации, в отличие от картины в двух других группах, не связаны со спецификой спортивной деятельности.

**Обсуждение.** Несмотря на то, что возрастные особенности аэробных возможностей организма на сегодняшний день достаточно хорошо изучены [1–9], в литературных источниках можно увидеть противоречивые данные, касающиеся способности к развитию аэробной работоспособности у детей, находящихся

в препубертатном и пубертатном периодах. По сведениям одних авторов, на данном этапе онтогенеза развитие аэробных возможностей затруднено вследствие существенных гормональных перестроек [6]. Другие исследователи, напротив, считают, что тренировка аэробной выносливости может обеспечить повышение аэробных способностей у детей [4, 7].

Результаты нашего исследования показали, что значения  $VO_{2\text{пик}}$ , обусловленные интенсивностью окислительных процессов, у лиц, специализирующихся в видах спорта, направленных на развитие выносливости, увеличивались до 18-летнего возраста. Далее наблюдалось незначительное снижение показателя. Можно полагать, что выявленные особенности аэробных возможностей у спортсменов, тренирующих выносливость в постпубертатный период, во многом обусловлены началом очередной передифференцировки мышечных волокон, связанной с увеличением доли богатых миоглобином медленных волокон I типа с хорошо развитым аппаратом митохондрий [10]. Обнаруженное нами уменьшение  $VO_{2\text{пик}}$  у спортсменов старше 18 лет указывает на снижение адаптационных возможностей кислородтранспортной системы. Исходя из данных о динамике мышечной массы у спортсменов разных возрастных групп и спортивной направленности, приведенных в *табл. 1*, можно предположить, что основная причина снижения  $VO_{2\text{пик}}$  у спортсменов старше 18 лет заключается в существенном возрастании мышечной массы. В силу этого, несмотря на пропорциональное увеличение минутного объема дыхания и роста кислородного пульса, данного количества потребляемого  $O_2$  недостаточно для удовлетворения кислородного запроса активных мышечных волокон.

Кроме того, по сведениям, опубликованным в работе [11], у спортсменов в возрасте 25–30 лет уменьшение уровня максимального потребления кислорода происходит главным образом вследствие снижения максимальной ЧСС при напряженных тренировках аэробной направленности. Это согласуется и с нашими результатами: у спортсменов, тренирующих

выносливость, по мере взросления прослеживалось снижение ЧСС на пике нагрузки ( $p > 0,05$ ), тогда как у представителей скоростно-силовых видов спорта во всех трех возрастных группах значения показателя были примерно одинаковыми.

В то же время у спортсменов скоростно-силовой направленности было отмечено некое постоянство показателя  $VO_{2\text{пик}}$  в течение достаточно длительного возрастного периода (с 12 до 18 лет). Это, возможно, связано с подростковым периодом, когда дифференцировка мышечной ткани приводит к тому, что увеличение массы поперечнополосатых мышц не сопровождается адекватным повышением мощности ферментативной системы [1]. Но, учитывая, что у обследуемых, специализирующихся в видах спорта на выносливость, наблюдался прирост  $VO_{2\text{пик}}$ , можно предположить, что важную роль играет не столько возрастной аспект, сколько направленность тренировочного процесса.

У спортсменов с преимущественно аэробным типом энергообеспечения мышечной деятельности  $An\dot{P}_{VO_2}$  линейно увеличивалось по мере взросления. У представителей скоростно-силовых видов спорта потребление  $O_2$  при достижении анаэробного порога возрастало только до постпубертатного периода и далее снижалось.

Быстрее всего достигали уровня  $VO_{2\text{пик}}$  спортсмены в постпубертатный период развития, но при этом дольше всего могли выполнять нагрузку спортсмены юношеского и зрелого возраста. Соответствующая динамика была характерна как для представителей скоростно-силовых видов спорта, так и для лиц с преимущественно аэробными нагрузками в тренировочном процессе. Примечательным является то, что спортсмены в возрасте 12–15 лет достигали  $VO_{2\text{пик}}$  позже, чем спортсмены 16–18 лет. Дети по сравнению с взрослыми отличаются значительно большей подвижностью аэробной системы энергообеспечения. Они быстрее достигают максимальных для данной работы величин потребления кислорода [1, 2, 10, 11].



ДК<sub>пик</sub> у спортсменов, тренирующих общую выносливость, в пубертатном периоде был ниже по сравнению со спортсменами такой же направленности старшей возрастной группы. Наиболее высокие значения ДК<sub>пик</sub> наблюдались в постпубертатный период. Метаболические особенности спортсменов разных возрастных групп могут быть связаны с дефицитом ферментов, ответственных за анаэробный гликолиз, что, несомненно, ограничивает его возможности, а также с активным использованием жиров в процессе аэробного метаболизма у спортсменов младшего возраста. К тому же у детей, по сравнению со взрослыми, ниже концентрация гликогена в мышцах и способность к его утилизации в процессе анаэробного обмена [12–14].

Согласно результатам факторного анализа, у спортсменов 12–15 лет с фактором направленности нагрузок отрицательно коррелировал кислородный пульс, у спортсменов, тренирующих выносливость, наблюдалось снижение кислородного пульса. С фактором физической работоспособности в пубертатном периоде положительно коррелировали параметры дыхания.

В 16–18 лет значимых корреляций переменных с фактором направленности нагрузок не обнаружено. В то же время количество связей параметров эргометрии с фактором физической работоспособности было выше, чем у лиц 12–15 лет, свидетельствуя о том, что у спортсменов постпубертатного периода физическая работоспособность определяется усилением

функции не только дыхания, но и сердечно-сосудистой системы.

У спортсменов старше 18 лет установлены тесные связи потребления O<sub>2</sub> при анаэробном пороге, кислородного пульса и дыхательного объема с фактором направленности нагрузок, также в данной группе отчетливо продемонстрирован вклад VO<sub>2пик</sub> в фактор физической работоспособности.

Таким образом, в результате проведенного исследования установлено, что динамика VO<sub>2пик</sub> определяется главным образом направленностью физической нагрузки. У лиц, специализирующихся в видах спорта на выносливость, в отличие от спортсменов скоростно-силовой направленности отчетливо продемонстрировано варьирование аэробной работоспособности по мере взросления. Так, у спортсменов 12–15 лет нагрузки аэробного характера не приводят к значительному повышению VO<sub>2пик</sub>, а физическая работоспособность определяется преимущественно усилением функции внешнего дыхания. В 16–18 лет наблюдается наибольший прирост VO<sub>2пик</sub>, в силу чего данный возрастной период может рассматриваться как оптимальный для выполнения интенсивных аэробных нагрузок и развития аэробных возможностей. В дальнейшем рост VO<sub>2пик</sub> уменьшается, при этом физическая работоспособность у спортсменов старше 18 лет лимитируется как функцией внешнего дыхания, так и сердечно-сосудистой системой.

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

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

## Список литературы

1. Погодина С.В., Алексанянц Г.Д. Потенциальные возможности организма детей, подростков и юношей при адаптации к физическим нагрузкам в спортивном плавании // Человек. Спорт. Медицина. 2019. Т. 19, № 2. С. 45–54. <https://doi.org/10.14529/hsm190206>
2. Armstrong N. Pediatric Aerobic Fitness and Trainability // *Pediatr. Exerc. Sci.* 2017. Vol. 29, № 1. P. 8–13. <https://doi.org/10.1123/pes.2017-0012>
3. Сухецкий В.К. Физическая работоспособность и подготовленность подростков 13-14 лет с различными стадиями полового созревания // *Соврем. наука: актуал. проблемы теории и практики. Сер.: Гуманит. науки.* 2022. № 1-2. С. 54–58.

4. *Enriquez-del-Castillo L.A., Ornelas-López A., De León L.G., Cervantes-Hernández N., Quintana-Mendias E., Flores L.A.* Strength and VO<sub>2</sub>max Changes by Exercise Training According to Maturation State in Children // *Children (Basel)*. 2022. Vol. 9, № 7. Art. № 938. <https://doi.org/10.3390/children9070938>
5. *Saal C., Chaabene H., Helm N., Warnke T., Prieske O.* Network Analysis of Associations Between Anthropometry, Physical Fitness, and Sport-Specific Performance in Young Canoe Sprint Athletes: The Role of Age and Sex // *Front. Sports Act. Living*. 2022. № 4. Art. № 1038350. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.1038350>
6. *Baquet G., Van Praagh E., Berthoin S.* Endurance Training and Aerobic Fitness in Young People // *Sports Med.* 2003. Vol. 33, № 15. P. 1127–1143. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333150-00004>
7. *Mahon A.D., Vaccaro P.* Ventilatory Threshold and VO<sub>2</sub>max Changes in Children Following Endurance Training // *Med. Sci. Sports Exerc.* 1989. Vol. 21, № 4. P. 425–431.
8. *Abarzúa V.J., Viloff C.W., Bahamondes V.J., Olivera P.Y., Poblete-Aro C., Herrera-Valenzuela T., Oliva C., García-Díaz D.F.* High Intensity Interval Training in Teenagers // *Rev. Med. Chil.* 2019. Vol. 147, № 2. P. 221–230. <https://doi.org/10.4067/s0034-98872019000200221>
9. *Криволапчук И.А.* Энергообеспечение мышечной деятельности у мальчиков 13-14 лет в зависимости от темпов полового созревания // *Физиология человека*. 2011. Т. 37, № 1. С. 85–96.
10. *Корниенко И.А., Сонькин В.Д., Тамбовцева Р.В.* Возрастное развитие энергетика мышечной деятельности: итоги 30-летнего исследования. Сообщение I. Структурно-функциональные перестройки // *Физиология человека*. 2005. Т. 31, № 4. С. 42–47.
11. *Montero D., Díaz-Cañestro C.* Maximal Cardiac Output in Athletes: Influence of Age // *Eur. J. Prev. Cardiol.* 2015. Vol. 22, № 12. P. 1588–1600. <https://doi.org/10.1177/2047487314566759>
12. *McNarry M.A.* Oxygen Uptake Kinetics in Youth: Characteristics, Interpretation, and Application // *Pediatr. Exerc. Sci.* 2019. Vol. 31, № 2. P. 175–183. <https://doi.org/10.1123/pes.2018-0177>
13. *Gamble P.* Metabolic Conditioning Development in Youths // *Strength and Conditioning for Young Athletes: Science and Application* / ed. by R.S. Lloyd, J.L. Oliver. London: Routledge, 2014. P. 120–131.
14. *Armstrong N., Barker A.R., McManus A.M.* Muscle Metabolism Changes with Age and Maturation: How Do They Relate to Youth Sport Performance? // *Br. J. Sports Med.* 2015. Vol. 49, № 13. P. 860–864. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094491>

## References

1. Pogodina S.V., Aleksanyants G.D. Potential Abilities in Children, Adolescents, and Young Males During Adaptation to Physical Load in Sports Swimming. *Hum. Sport Med.*, 2019, vol. 19, no. 2, pp. 45–54 (in Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm190206>
2. Armstrong N. Pediatric Aerobic Fitness and Trainability. *Pediatr. Exerc. Sci.*, 2017, vol. 29, no. 1, pp. 8–13. <https://doi.org/10.1123/pes.2017-0012>
3. Sukhetskij V.K. Fizicheskaya rabotosposobnost' i podgotovlennost' podrostkov 13-14 let s razlichnymi stadiyami polovogo sozrevaniya [Physical Performance and Preparedness of Adolescents 13–14 Years Old with Various Stages of Pubertal Maturity]. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Ser.: Gumanitarnye nauki*, 2022, no. 1-2, pp. 54–58.
4. *Enriquez-Del-Castillo L.A., Ornelas-López A., De León L.G., Cervantes-Hernández N., Quintana-Mendias E., Flores L.A.* Strength and VO<sub>2</sub>max Changes by Exercise Training According to Maturation State in Children. *Children (Basel)*, 2022, vol. 9, no. 7. Art. no. 938. <https://doi.org/10.3390/children9070938>
5. *Saal C., Chaabene H., Helm N., Warnke T., Prieske O.* Network Analysis of Associations Between Anthropometry, Physical Fitness, and Sport-Specific Performance in Young Canoe Sprint Athletes: The Role of Age and Sex. *Front. Sports Act. Living*, 2022, no. 4. Art. no. 1038350. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.1038350>
6. *Baquet G., Van Praagh E., Berthoin S.* Endurance Training and Aerobic Fitness in Young People. *Sports Med.*, 2003, vol. 33, no. 15, pp. 1127–1143. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333150-00004>
7. *Mahon A.D., Vaccaro P.* Ventilatory Threshold and VO<sub>2</sub>max Changes in Children Following Endurance Training. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1989, vol. 21, no. 4, pp. 425–431.

8. Abarzúa V.J., Viloff C.W., Bahamondes V.J., Olivera P.Y., Poblete-Aro C., Herrera-Valenzuela T., Oliva C., García-Díaz D.F. High Intensity Interval Training in Teenagers. *Rev. Med. Chil.*, 2019, vol. 147, no. 2, pp. 221–230. <https://doi.org/10.4067/s0034-98872019000200221>

9. Krivolapchuk I.A. Energy Supply for Muscle Activity in 13- to 14-Year-Old Boys Depending on the Rate of Puberty. *Hum. Physiol.*, 2011, vol. 37, no. 1, pp. 75–84.

10. Kornienko I.A., Son'kin V.D., Tambovtseva R.V. Development of the Energetics of Muscular Exercise with Age: Summary of a 30-Year Study: I. Structural and Functional Rearrangements. *Hum. Physiol.*, 2005, vol. 31, no. 4, pp. 402–406.

11. Montero D., Díaz-Cañestro C. Maximal Cardiac Output in Athletes: Influence of Age. *Eur. J. Prev. Cardiol.*, 2015, vol. 22, no. 12, pp. 1588–1600. <https://doi.org/10.1177/2047487314566759>

12. McNarry M.A. Oxygen Uptake Kinetics in Youth: Characteristics, Interpretation, and Application. *Pediatr. Exerc. Sci.*, 2019, vol. 31, no. 2, pp. 175–183. <https://doi.org/10.1123/pes.2018-0177>

13. Gamble P. Metabolic Conditioning Development in Youths. Lloyd R.S., Oliver J.L. (eds.). *Strength and Conditioning for Young Athletes: Science and Application*. London, 2014, pp. 120–131.

14. Armstrong N., Barker A.R., McManus A.M. Muscle Metabolism Changes with Age and Maturation: How Do They Relate to Youth Sport Performance? *Br. J. Sports Med.*, 2015, vol. 49, no. 13, pp. 860–864. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094491>

Поступила в редакцию 21.04.2023 / Одобрена после рецензирования 17.10.2023 / Принята к публикации 29.12.2023.

Submitted 21 April 2023 / Approved after reviewing 17 October 2023 / Accepted for publication 29 December 2023.