

Спортивная тренировка Sports training

Научная статья

УДК 796.01:577.01

DOI: 10.14529/hsm220312

ВЗАИМОСВЯЗЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ, СИЛОВОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ ЭЛИТНЫХ ПЛОВЦОВ НА ДИСТАНЦИИ 200 МЕТРОВ В БОЛЬШОМ ТРЕНИРОВОЧНОМ ЦИКЛЕ

С.В. Колмогоров¹, svkolmogorov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9339-500X>

А.Р. Воронцов², a.r.vorontsov52@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6666-0920>

О.А. Румянцева¹, o.rumyantseva@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4337-3870>

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

²Университет Бата, Бат, Великобритания

Аннотация. Цель исследования: совершенствование процесса подготовки пловцов на средние дистанции на основании регулярного и взаимосвязанного анализа количественных критериев изучаемых сторон подготовленности. **Материалы и методы.** Принимали участие 4 элитных пловца мужского пола, которые специализировались в различных спортивных способах и входили в число 20 спортсменов мирового рейтинга на дистанции 200 м. Использовался комплекс методов, специально ориентированных на определение изучаемых метаболических и биомеханических показателей. **Результаты.** В анализируемые периоды цикла подготовки к ЧЕ по плаванию 2015 года в 25-метровом бассейне в ступенчатом тесте 8×200 м основным способом плавания происходит лонгитудинальный сдвиг метаболической кривой, направленность которого в первую очередь зависит от реализованной индивидуальной тренировочной программы. Анализ показателей скорости плавания на последней ступени теста, проведенный на основании математической модели изучаемого процесса, показал, что изменения объема, интенсивности и содержания тренировочной работы в различные периоды тренировочного цикла приводят к целенаправленной, жестко взаимосвязанной и иногда существенной динамике текущих уровней подготовленности. В то же время у трех спортсменов, которые успешно выступили на соревнованиях ЧЕ на дистанции 200 м вольным стилем, кролем на спине и брассом, количественные критерии специальной подготовленности на последней ступени теста в фазе сужения находятся в определенном диапазоне, характерном для данной дистанции. Мощность активного метаболизма находится в диапазоне 2035–2497 Вт, коэффициент механической эффективности – 0,063–0,072, коэффициент продвигающей эффективности – 0,69–0,73. **Заключение.** Основным фактором успешного выступления спортсменов на главных соревнованиях в цикле подготовки является оптимальная сбалансированность в фазе сужения индивидуальных количественных критериев анализируемых сторон подготовленности.

Ключевые слова: мощность активного метаболизма, механическая и продвигающая эффективность, скорость плавания

Для цитирования: Колмогоров С.В., Воронцов А.Р., Румянцева О.А. Взаимосвязь функциональной, силовой и технической подготовленности элитных пловцов на дистанции 200 метров в большом тренировочном цикле // Человек. Спорт. Медицина. 2022. Т. 22, № 3. С. 102–111. DOI: 10.14529/hsm220312

Original article

DOI: 10.14529/hsm220312

THE RELATIONSHIP OF FUNCTIONAL, STRENGTH AND TECHNICAL FITNESS IN ELITE SWIMMERS IN THE 200-METER EVENTS DURING THE TRAINING MACROCYCLE

S.V. Kolmogorov¹, svkolmogorov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9339-500X>

A.R. Vorontsov², a.r.vorontsov52@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6666-0920>

O.A. Rummyantseva¹, o.rummyantseva@narfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4337-3870>

¹Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

²University of Bath, Bath, United Kingdom

Abstract. Aim. This study aims to improve the training of middle-distance swimmers by means of a regular and comprehensive analysis of quantitative criteria that define the major components of fitness. **Materials and methods.** The study involved 4 elite male swimmers in the 200-meter events who had been previously ranked within top 20 swimmers. During the training macrocycle, all subjects underwent regular testing using the same pedagogical, physiological, hydrodynamic, biomechanical, and ergometer test protocols. The data obtained were processed with the methods of mathematical modelling. **Results.** It was found that during the macrocycle before European Short Course Swimming Championships 2015, the subjects showed a longitudinal shift of the metabolic curve that was evident from the step test protocol (8×200 m). This shift was mostly associated with the character and nature of a training program. The mathematical analysis of swimming velocity during the final stage of the test showed that targeted changes in training volume and intensity, as well as in training content at consecutive stages of the macrocycle were accompanied by the corresponding and sometimes significant changes in the levels of physical and technical fitness. At the tapering stage, for three of the subjects, who successfully performed at European Short Course Swimming Championships 2015 in the 200 m events (freestyle, backstroke and breaststroke), swimming performance criteria fell within the range that was usually characteristic of high performance in the 200 m events. The power of active metabolism was within the range of 2035–2497 W, the coefficient of mechanical efficiency – 0.063–0.072, the coefficient of propelling efficiency – 0.69–0.73. **Conclusion.** The major factor contributing to successful performance in the main competitive event within the studied macrocycle was the optimal balance of the quantitative performance criteria that was achieved during the tapering stage of training.

Keywords: active metabolism, mechanical efficiency, propelling efficiency, swimming velocity

For citation: Kolmogorov S.V., Vorontsov A.R., Rummyantseva O.A. The relationship of functional, strength and technical fitness in elite swimmers in the 200-meter events during the training macrocycle. *Human. Sport. Medicine.* 2022;22(3):102–111. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm220312

Введение. Процесс трансформации метаболической мощности в скорость плавания при передвижении человека в водной среде формализован в виде математической модели [22]: $v_0 = P_{ai} \cdot e_g \cdot e_p \cdot F_{r(fd)}^{-1}$, где v_0 – средняя скорость плавания на соревновательной дистанции или тренировочном отрезке {м·с⁻¹}; P_{ai} – мощность активного метаболизма {Вт}; e_g – безразмерный коэффициент механической эффективности, т. е. отношение тотальной механической мощности (P_{to}) к P_{ai} ; e_p – безразмерный коэффициент продвигающей эффективности, т. е. отношение полезной механической мощности (P_{uo}) к P_{to} ; $F_{r(fd)}$ – фронтальная компонента силы активного гидродинамического сопротивления {Н}. Поэтому в последнее

время в спортивной практике эффективно используются интегральные количественные критерии *специальной* подготовленности пловца (на уровне целостного организма), разработанные на основании математической модели изучаемого процесса: P_{ai} – критерий *функциональной подготовленности*; e_g – критерий *силовой подготовленности*; e_p – основной критерий *технической подготовленности*; $F_{r(fd)}$ – дополнительный критерий *технической подготовленности* [2, 11, 12, 14, 17].

Экспериментальное изучение переменных модели стало возможным в процессе создания новых технологий на базе междисциплинарного подхода, которые позволяют количественно оценивать эффективность изучаемого

процесса в реальных условиях плавания различными способами в бассейне или гидродинамическом канале [1, 2, 4–9, 11]. Однако при одинаковых показателях развиваемой P_{ai} пловец показывает существенно более низкую скорость плавания в гидродинамическом канале (на 8–14 %), чем в бассейне [10, 19, 20].

Цель исследования: совершенствование процесса подготовки пловцов на средние дистанции различными способами в большом тренировочном цикле на основании регулярного и взаимосвязанного анализа и оценки количественных критериев изучаемых сторон подготовленности.

Материалы и методы исследования. В исследовании принимали участие 4 элитных пловца мужского пола, которые специализировались в различных способах плавания и представляли различные национальные команды. Все спортсмены готовились к чемпионату Европы 2015 года в 25-метровом бассейне, который состоялся 2–6 декабря в городе Нетания (Израиль).

Общий план подготовки к ЧЕ в большом тренировочном цикле (15 недель, 24.08–06.12.2015) был заранее согласован личными тренерами спортсменов и включал в себя четыре периода: подготовительный период (2 недели, 24.08–06.09.2015); период аэробно-силовой подготовки (4 недели, 07.09–04.10.2015); период специальной подготовки (6 недель, 05.10–15.11.2015); фаза сужения и соревновательный период (3 недели 16.11–06.12.2015). Индивидуальные планы разрабатывались и реализовывались личными тренерами и поэтому существенно различались. Стандартное тестирование проводилось на последней неделе в первых трех периодах подготовки и в начале второй недели фазы сужения.

Каждый прерывистый ступенчатый тест с увеличением скорости от низкой до максимальной выполнялся дважды: первый раз в гидродинамическом канале, второй раз тестирование проводилось через 72 часа в 25-метровом бассейне. Тест выполнялся основным способом 8×2 мин в канале и 8×200 м в бассейне. Интервалы отдыха в обоих случаях составляли: 1, 2, 3 и 4-й интервалы – 3 мин; 5, 6 и 7-й интервалы – 5 мин. С целью точного выполнения условий теста предварительно рассчитывались индивидуальные скорости плавания как в канале, так и в бассейне. В последнем случае использовалось свето-лиди-

рующее устройство *Virtual Trainer 2* (Aqvaspeed, Италия).

При тестировании в канале все необходимые газовые параметры вентилируемого воздуха в течение всего исследования непрерывно измеряли с использованием стационарной системы *MetaSwim* (Cortex, Германия). При тестировании в бассейне необходимые газовые параметры вентилируемого воздуха измеряли во время каждого интервала отдыха в течение первых 2 мин с использованием мобильной системы *MetaMax* (Cortex, Германия). До и после выполнения работы на каждой ступени теста определяли концентрацию лактата в капиллярной крови (после выполнения работы использовались его пиковые значения, которые регистрировались в различное время после окончания работы).

P_{ai} рассчитывалась с учетом времени работы на основании измерения энергетических затрат методом непрямой калориметрии [8, 9, 13, 16, 18, 21, 23, 25]. В канале энергия активного метаболизма (E_{ai} , кДж) определялась как сумма трех компонент: аэробной – $E_{ai(Aer)}$ (aerobic component), анаэробной алактатной – $E_{ai(AnAl)}$ (anaerobic alactic component), анаэробной лактатной – $E_{ai(AnL)}$ (anaerobic lactic component). В бассейне $E_{ai(AnAl)}$ и $E_{ai(AnL)}$ определялись также на основании прямых измерений, $E_{ai(Aer)}$ рассчитывалась методом обратной экстраполяции [4, 24] с учетом индивидуальных парциальных вкладов метаболических компонент в E_{ai} , полученных ранее в канале для соответствующего уровня энергообеспечения. P_{to} , e_g , e_p и $F_{r(fd)}$ определялись в плавательном бассейне с использованием комплекса био-гидродинамических методов [12, 14, 17, 22]. Теория, технология, верификация и оценка релевантности допущений, используемых физиологических, метаболических и биомеханических методов представлена в цитируемых выше работах данного раздела.

Результаты. На правой части рис. 1–4 представлены экспериментальные зависимости (индивидуальные метаболические кривые) между v_{0exp} и P_{ai} , а на левой части – зависимости между P_{to} и P_{ai} , полученные при выполнении ступенчатого теста в бассейне спортивными способами плавания испытуемыми: кроль на груди (M1, рост – 1,93 м, масса тела – 84,3 кг, год рождения – 1992); кроль на спине (M2, рост – 1,78 м, масса тела – 74,5 кг, год рождения – 1994); дельфин (M3, рост – 1,81 м, масса тела – 76,2 кг, год рождения –

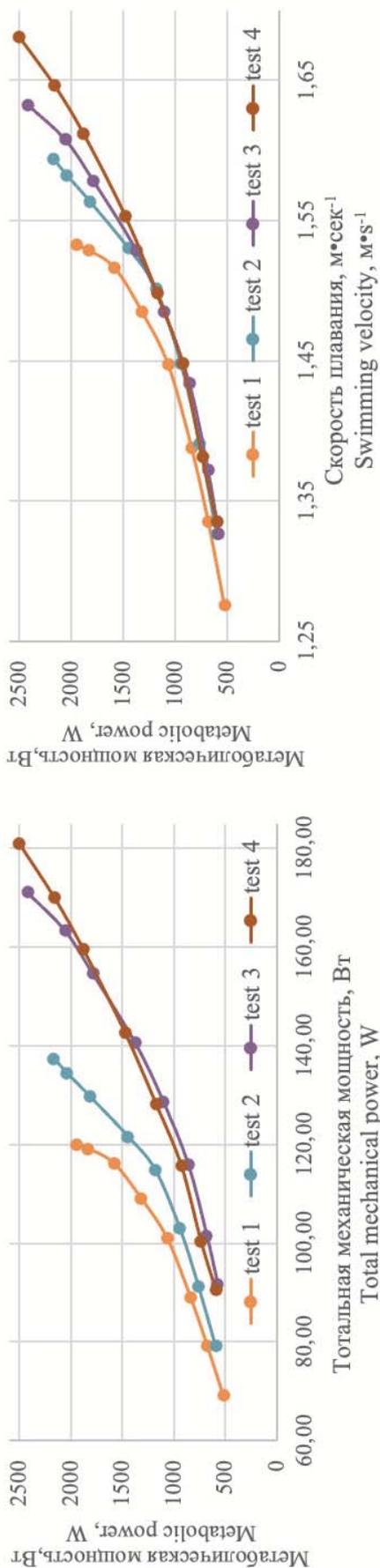


Рис. 1. Динамика функциональных зависимостей между $V_{\text{фэр}}$ и $P_{\text{ар}}$ (правая часть), между $P_{\text{то}}$ и $P_{\text{ар}}$ (левая часть) испытуемого M1 в ступенчатом тесте 8 × 200 м кроль на груди по периодам большого тренировочного цикла
Fig. 1. Functional relationships between $V_{\text{фэр}}$ and $P_{\text{ар}}$ (right graph), between $P_{\text{то}}$ and $P_{\text{ар}}$ (left graph) in M1 subject in the front crawl swimming step test 8 × 200 m over the periods of the training macrocycle

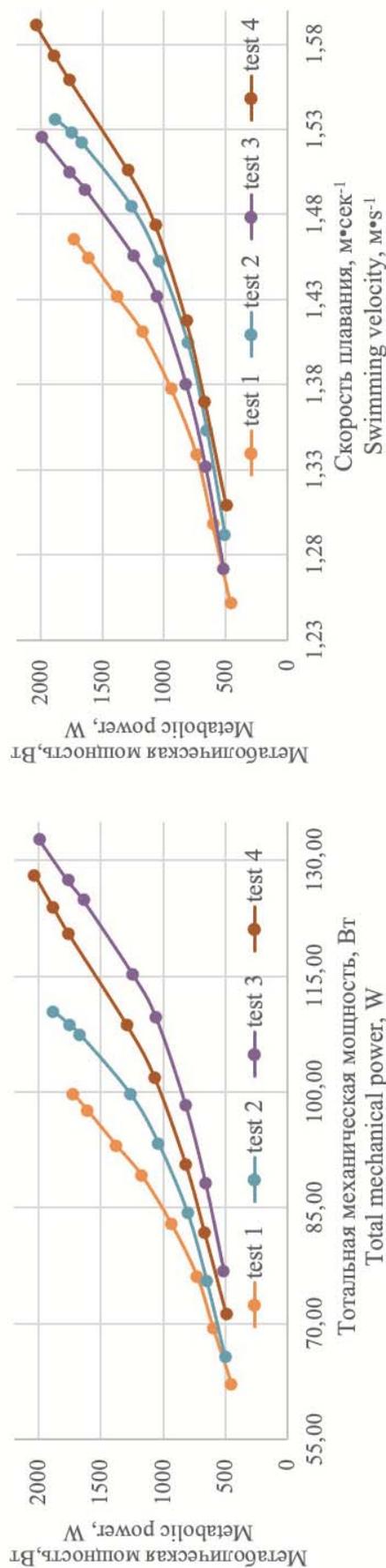


Рис. 2. Динамика функциональных зависимостей между $V_{\text{фэр}}$ и $P_{\text{ар}}$ (правая часть), между $P_{\text{то}}$ и $P_{\text{ар}}$ (левая часть) испытуемого M2 в ступенчатом тесте 8 × 200 м кроль на спине по периодам большого тренировочного цикла
Fig. 2. Functional relationships between $V_{\text{фэр}}$ and $P_{\text{ар}}$ (right graph), between $P_{\text{то}}$ and $P_{\text{ар}}$ (left graph) in M2 subject in the backstroke swimming step test 8 × 200 m over the periods of the training macrocycle

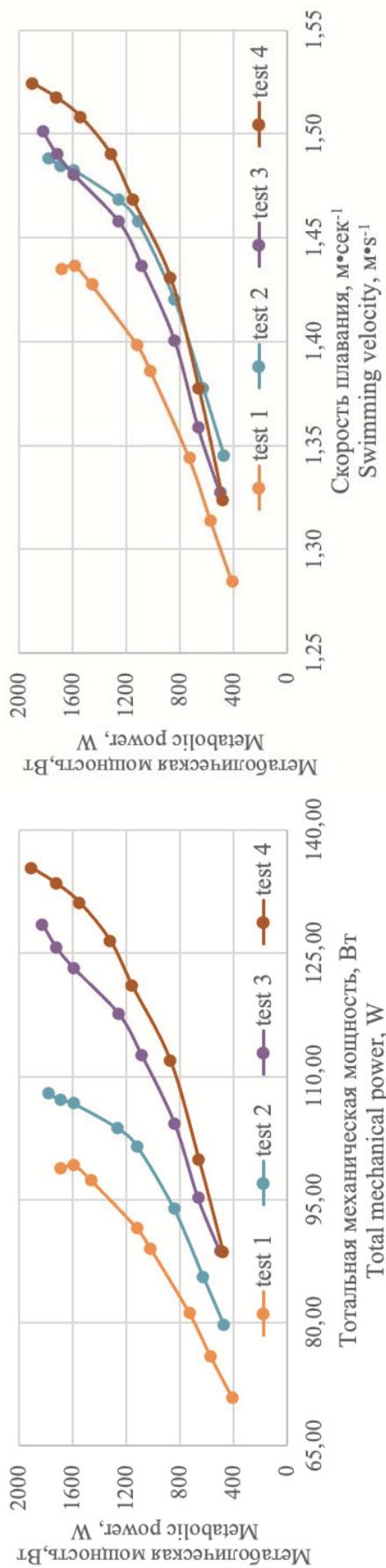


Рис. 3. Динамика функциональных зависимостей между $V_{\text{бвэр}}$ и $P_{\text{мт}}$ (правая часть), между $P_{\text{тот}}$ и $P_{\text{мт}}$ (левая часть) испытуемого М3 в ступенчатом тесте 8 × 200 м дельфином по периодам большого тренировочного цикла
Fig. 3. Functional relationships between V_{bver} and P_{mt} (right graph), between P_{to} and P_{mt} (left graph) in M3 subject in the dolphin stroke swimming step test 8 × 200 m over the periods of the training macrosycle

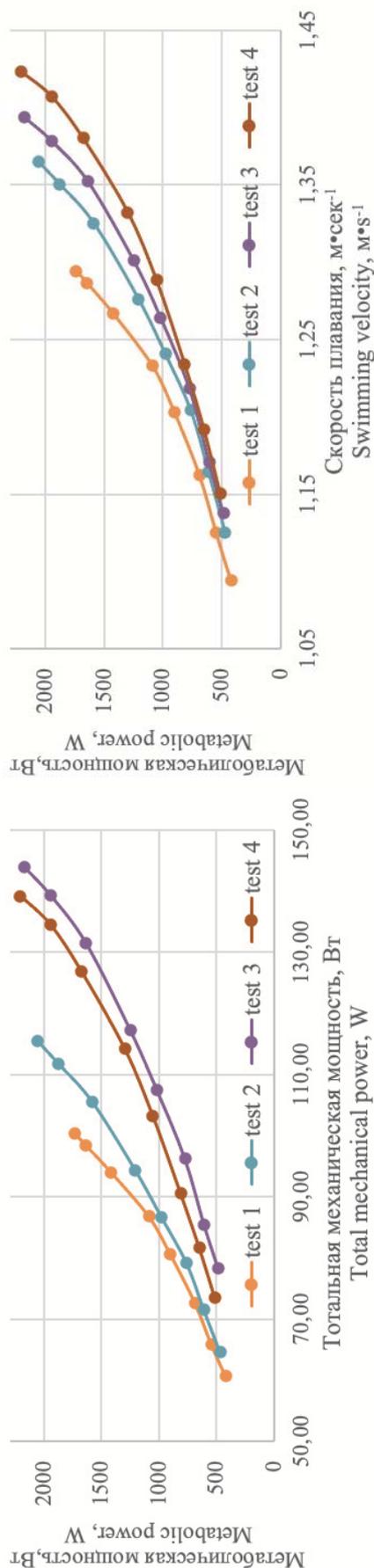


Рис. 4. Динамика функциональных зависимостей между $V_{\text{бвэр}}$ и $P_{\text{мт}}$ (правая часть), между $P_{\text{тот}}$ и $P_{\text{мт}}$ (левая часть) испытуемого М4 в ступенчатом тесте 8 × 200 м брассом по периодам большого тренировочного цикла
Fig. 4. Functional relationships between V_{bver} and P_{mt} (right graph), between P_{to} and P_{mt} (left graph) in M4 subject in the breaststroke swimming step test 8 × 200 m over the periods of the training macrosycle

1998); *брас* (М4, рост – 1,80 м, масса тела – 83,0 кг, год рождения – 1992). В табл. 1–4 представлены показатели тестирования этих же испытуемых на последнем отрезке теста, которые количественно определяют интегральные критерии изучаемых сторон подготовленности на соответствующей скорости плавания, достигаемой в различные периоды большого тренировочного цикла.

Анализ результатов теста 1 позволяет оценить текущий индивидуальный уровень всех изучаемых критериев подготовленности спортсменов в результате реализации тренировочной программы *подготовительного периода* и количественно объясняет механизмы достижения испытуемыми на последней ступени теста соответствующей $v_{0\text{exp}}$.

Поскольку исследование было неотъемлемой частью подготовки пловцов к ЧЕ, дальнейший анализ проводится строго в лонгитудинальном аспекте – экспериментальные показатели в анализируемом периоде сравниваются с аналогичными показателями в предыдущем периоде. В результате реализации индивидуальных тренировочных программ в *период аэробно-силовой подготовки* (тест 2) у всех испытуемых происходит сдвиг метаболической кривой в правую сторону в координатах « $v_{0\text{exp}}-P_{ai}$ », который большинством специалистов и тренеров интерпретируется как положительная динамика в подготовленности пловцов [3, 15, 18, 24], так как одинаковые показатели $v_{0\text{exp}}$ во время этого теста достигаются с меньшими показателями P_{ai} . Действительно, на последней ступени теста показатели $v_{0\text{exp}}$ увеличиваются, что только частично связано с первой и очевидной причиной: повышением критерия функциональной подготовленности до соответствующих индивидуальных значений P_{ai} . Здесь, необходимо отметить, что увеличение индивидуальных значений E_{ai} происходит в результате количественного повышения $E_{ai(Aer)}$, $E_{ai(Anl)}$ и снижения $E_{ai(AnAl)}$, что и приводит к закономерному изменению парциальных вкладов метаболических компонент (M1: $E_{ai(Aer)}/E_{ai(AnAl)}/E_{ai(Anl)} = 68/17/15\%$ ¹; M2: {71/17/12%}; M3: {67/18/15%}; M4: {63/16/21 %}).

¹ Далее в тексте соотношения парциальных вкладов метаболических компонент приводятся в одинаковой последовательности в фигурных скобках без указания соответствующих аббревиатур.

Однако детальный анализ механизмов наблюдаемого повышения $v_{0\text{exp}}$ позволяет сделать более точную и взаимосвязанную оценку влияния индивидуальных тренировочных программ спортсменов на процесс изменений силовой и технической подготовленности. У всех испытуемых наблюдается сдвиг метаболической кривой в правую сторону координат « $P_{io}-P_{ai}$ », что однозначно свидетельствует о повышении текущего уровня силовой подготовленности, так как одинаковые показатели P_{ai} более эффективно трансформируются в P_{io} на всем диапазоне сравнимых скоростей плавания (тест 1 и 2). Поэтому вторым фактором наблюдаемого увеличения испытуемыми $v_{0\text{exp}}$ на последней ступени теста 2 является способность элитных пловцов к сохранению e_g при достижении более высокой скорости плавания (незначительное увеличение e_g у испытуемых M1, M2, M3 и незначительное снижение e_g у испытуемого M4). Дело в том, что в аналогичных ступенчатых тестах между e_g и $v_{0\text{exp}}$ выявлена обратная, практически линейная зависимость [22]. Третьим, не менее значимым фактором увеличения $v_{0\text{exp}}$ на последней ступени теста является существенное повышение e_p . Из математической модели процесса ясно, что повышение $F_{r(fd)}$, которое происходит в связи с увеличением $v_{0\text{exp}}$, является негативным, но закономерным процессом. Поэтому проводилась специальная оценка этого показателя [22], которая в данном случае позволяет охарактеризовать индивидуальную величину $F_{r(fd)}$ у всех спортсменов как сохранение дополнительного критерия технической подготовленности на прежнем уровне.

В *период специальной подготовки* (тест 3) у испытуемых M1 и M4 происходит дальнейший сдвиг метаболической кривой в правую сторону в обеих системах координат. В координатах « $P_{io}-P_{ai}$ » это происходит на всем диапазоне скоростей, что свидетельствует о дальнейшем повышении текущего уровня силовой подготовленности во всех зонах энергетического обеспечения. В координатах « $v_{0\text{exp}}-P_{ai}$ » это происходит только в верхнем диапазоне скоростей плавания. У испытуемых M2 и M3 происходит сдвиг метаболической кривой в левую сторону в системе координат « $v_{0\text{exp}}-P_{ai}$ » и в правую сторону в системе координат « $P_{io}-P_{ai}$ », что расценивается как негативная тенденция, требующая экстренного анализа ситуации личным тренером спортсмена [3, 15, 18, 24].

Таблица 1
Table 1

Экспериментальные показатели испытуемого М1 на последнем отрезке ступенчатого теста 8 × 200 м кролем на груди
Experimental parameters of M1 subject on the last segment in the front crawl swimming step test 8 × 200 m

№ теста	$v_{0\text{exp}}$, м·с ⁻¹ /m·s ⁻¹	E_{ai} , кДж/кДж	$E_{ai(\text{Aer})}$, кДж/кДж	$E_{ai(\text{AnAl})}$, кДж/кДж	$E_{ai(\text{Anl})}$, кДж/кДж	P_{ai} , Вт/Вт	P_{to} , Вт/Вт	e_g	e_p	$F_{r(\text{fd})}$, Н/Н
Test 1	1,53	242,56	154,43	40,76	47,37	1942	120,95	0,062	0,62	49
Test 2	1,59	259,51	176,86	43,62	39,04	2164	137,31	0,063	0,69	60
Test 3	1,63	282,31	178,41	42,84	61,06	2415	171,06	0,071	0,65	68
Test 4	1,68	283,20	185,33	45,74	52,13	2497	180,83	0,072	0,69	74

Таблица 2
Table 2

Экспериментальные показатели испытуемого М2 на последнем отрезке ступенчатого теста 8 × 200 м кролем на спине
Experimental parameters of M2 subject on the last segment in the backstroke swimming step test 8 × 200 m

№ теста	$v_{0\text{exp}}$, м·с ⁻¹ /m·s ⁻¹	E_{ai} , кДж/кДж	$E_{ai(\text{Aer})}$, кДж/кДж	$E_{ai(\text{AnAl})}$, кДж/кДж	$E_{ai(\text{Anl})}$, кДж/кДж	P_{ai} , Вт/Вт	P_{to} , Вт/Вт	e_g	e_p	$F_{r(\text{fd})}$, Н/Н
Test 1	1,47	225,79	149,93	37,93	37,93	1725	99,78	0,058	0,65	44
Test 2	1,54	234,48	166,16	40,78	27,54	1882	110,42	0,059	0,69	49
Test 3	1,53	250,20	157,26	44,83	48,12	1994	132,72	0,067	0,67	58
Test 4	1,59	244,45	167,51	46,21	30,73	2035	128,09	0,063	0,73	59

Таблица 3
Table 3

Экспериментальные показатели испытуемого М3 на последнем отрезке ступенчатого теста 8 × 200 м дельфином
Experimental parameters of M3 subject on the last segment in the dolphin stroke swimming step test 8 × 200 m

№ теста	$v_{0\text{exp}}$, м·с ⁻¹ /m·s ⁻¹	E_{ai} , кДж/кДж	$E_{ai(\text{Aer})}$, кДж/кДж	$E_{ai(\text{AnAl})}$, кДж/кДж	$E_{ai(\text{Anl})}$, кДж/кДж	P_{ai} , Вт/Вт	P_{to} , Вт/Вт	e_g	e_p	$F_{r(\text{fd})}$, Н/Н
Test 1	1,43	225,45	140,57	37,76	47,12	1685	98,79	0,059	0,59	41
Test 2	1,49	229,15	153,78	40,23	35,13	1779	107,94	0,061	0,68	50
Test 3	1,50	232,84	146,55	43,37	42,91	1825	128,49	0,070	0,67	57
Test 4	1,52	239,02	136,42	47,92	54,68	1903	135,38	0,071	0,64	57

Таблица 4
Table 4

Экспериментальные показатели испытуемого М4 на последнем отрезке ступенчатого теста 8 × 200 м брассом
Experimental parameters of M4 subject on the last segment in the breaststroke swimming step test 8 × 200 m

№ теста	$v_{0\text{exp}}$, м·с ⁻¹ /m·s ⁻¹	E_{ai} , кДж/кДж	$E_{ai(\text{Aer})}$, кДж/кДж	$E_{ai(\text{AnAl})}$, кДж/кДж	$E_{ai(\text{Anl})}$, кДж/кДж	P_{ai} , Вт/Вт	P_{to} , Вт/Вт	e_g	e_p	$F_{r(\text{fd})}$, Н/Н
Test 1	1,29	258,56	166,33	47,47	44,75	1736	100,40	0,058	0,55	43
Test 2	1,37	289,68	180,13	47,46	62,09	2056	115,42	0,056	0,67	56
Test 3	1,39	299,54	177,76	49,99	71,80	2172	144,04	0,066	0,64	66
Test 4	1,42	297,65	180,05	50,01	67,59	2206	139,22	0,063	0,71	70

На последней ступени теста у испытуемых М1 и М4, несмотря на снижение e_p , $v_{0\text{exp}}$ повышается, что связано с увеличением P_{ai} , e_g и сохранением $F_{r(\text{fd})}$ на прежнем оценочном уровне. Такое снижение e_p в период специальной подготовки у средневиков наблюдалось специалистами ранее и объясняется увеличением объема в данный период предельно жестких тренировочных упражнений в зоне

максимального анаэробного метаболизма [2, 12, 15, 16], что, в свою очередь, и приводит к закономерному увеличению парциального вклада анаэробной лактатной компоненты ($E_{ai(\text{Anl})}$) в E_{ai} (М1: {63/15/22 %}; М4: {59/17/24 %}). У испытуемых М2 и М3 $v_{0\text{exp}}$ сохраняется практически на прежнем уровне (что происходит несмотря на увеличение P_{ai} и e_g). Двумя основными факторами такого

сложного феномена являются: снижение e_p и значительное увеличение $F_{r(fid)}$, которое оценивается как не адекватно резкое ухудшение дополнительного критерия специальной технической подготовленности. Кроме того, у испытуемого М2 отмечено значительное снижение парциального вклада аэробной компоненты ($E_{ai(Aer)}$) в E_{ai} (М2: {63/18/19 %}; М3: {63/19/18 %}).

В фазе сужения у испытуемых М1, М2 и М4 (тест 4) происходит дальнейший сдвиг метаболической кривой в правую сторону в координатах « $v_{0exp}-P_{ai}$ », который наблюдается в высшем диапазоне скоростей, а также сохранение или оптимальный сдвиг в левую сторону в координатах « $P_{io}-P_{ai}$ ». На последней ступени теста v_{0exp} повышается, причем это происходит при незначительном повышении или даже незначительном снижении P_{ai} , что связано с оптимизацией парциальных вкладов метаболических компонент в данный период (М1: {66/16/18 %}; М2: {68/19/13 %}; М4: {60/17/23 %}). В то же время существенно повышается e_p (до максимальных величин в анализируемом тренировочном цикле), при сохранении или оптимальном снижении e_g . Одновременное повышение e_g и e_p в данной фазе наблюдается достаточно редко, так как эти показатели отрицательно взаимосвязаны друг с другом [2, 7, 12, 15]. $F_{r(fid)}$ закономерно увеличилась и оценивается у данных спортсменов как сохранение критерия на прежнем уровне.

Анализ парциальных вкладов метаболических компонент за весь цикл подготовки позволяет оценить метаболизм испытуемых М1, М2 и М4 как аэробный, т. е. с преобладающим вкладом окислительной энергетической системы в суммарный метаболизм [13, 18]. Реализация эффективных индивидуальных тренировочных программ приводит к оптимально сбалансированным уровням изучаемых сторон подготовленности накануне ЧЕ, что и позволило каждому из спортсменов установить личный рекорд на дистанции 200 м основным способом. В то же время реализация индивидуальной тренировочной программы испытуемым М3 в фазе сужения не привела к устранению двух негативных факторов подготовленности, отмеченных выше при анализе в период специальной подготовки. Наоборот, произошло дальнейшее снижение вклада $E_{ai(Aer)}$, который оказался минимальным за весь цикл подготовки {57/20/23 %} и существенное снижение продвигающей эффективности, что не позволило спортсмену успешно выступить на ЧЕ.

Заключение. Реализация эффективных тренировочных программ элитных пловцов на средних дистанциях в различных способах плавания приводит к целенаправленному, жестко взаимосвязанному и иногда существенному изменению текущих количественных критериев функциональной, силовой и технической подготовленности в различные периоды большого тренировочного цикла.

Список литературы / References

1. Sacilotto G.B., Ball N., Mason B.R. A Biomechanical Review of the Techniques Used to Estimate or Measure Resistive Forces in Swimming. *Journal Appl Biomech*, 2014, vol. 30, pp. 119–127. DOI: 10.1123/jab.2013-0046
2. Toussaint H.M. Biomechanical Aspects of Peak Performance in Human Swimming. *Animal Biology*, 2005, vol. 55, pp. 17–40. DOI: 10.1163/1570756053276907
3. Ribeiro J., de Jesus K., Vilas-Boas J.P. et al. Biophysical Determinants of Front Crawl Swimming at Moderate and Severe Intensities. *Int Journal Sports Physiology Performance*, 2017, vol. 12 (2), pp. 241–246. DOI: 10.1123/ijsp.2015-0766
4. Schuller T., Hoffmann U., Iglesias X. et al. Concurrent Validity of a New Model for Estimating Peak Oxygen Uptake Based on Post-Exercise Measurements and Heart Rate Kinetics in Swimming. *Proceedings of the XII International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming (BMS)*, 2014, pp. 506–511.
5. Hazrati P., Mason B.R., Sinclair P.J. et al. Contribution of Uncertainty in Estimation of Active Drag Using Assisted Towing Method in Front Crawl Swimming. *Journal Sport Science*, 2018, vol. 36 (1), pp. 7–13. DOI: 10.1080/02640414.2016.1276295
6. Narita K., Nakashima M., Takagi H. Developing a Methodology for Estimating the Drag in Front Crawl Swimming at Various Velocities. *Journal Biomech*, 2017, vol. 54, pp. 123–128. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2017.01.037

7. Ogita F., Yamanaka D., Yotani K., Tamaki H. Effects of Specific Resistance Training in Swimming on Drag, Propulsive Power and Propelling Efficiency. *Proceedings of the XIII BMS*, 2018, pp. 305–309.
8. Ogita F. Energetic in Competitive Swimming and its Application for Training. *Proceedings of the X BMS*, 2006, pp. 117–121.
9. Capelli C., Pendergast D.R., Termin B. Energetics of Swimming at Maximal Speeds in Humans. *European Journal Appl Physiology*, 1998, vol. 78, pp. 385–393. DOI: 10.1007/s004210050435
10. Zamparo P., Capelli C., Pendergast D. Energetics of Swimming: a Historical Perspective. *European Journal Appl Physiology*, 2011, vol. 111, pp. 367–378. DOI: 10.1007/s00421-010-1433-7
11. Kolmogorov S.V. Kinematic and Dynamic Characteristics of Steady-State Non-Stationary Motion of Elite Swimmers. *Russian Journal of Biomechanics*, 2008, vol. 12 (4), pp. 56–70.
12. Gatta G., Cortesi M., Swaine I., Zamparo P. Mechanical Power, Thrust Power and Propelling Efficiency: Relationships with Elite Sprint Swimming Performance. *Journal Sport Science*, 2017, vol. 36 (4), pp. 1–7. DOI: 10.1080/02640414.2017.1322214
13. Weber S., Hellard P., Rodríguez F.A., Mader A. Metabolic Profiling in Elite Swimmers – Testing in the Pool to Determine Aerobic and Glycolytic Capacities. *Proceedings 18th FINA World Sports Medicine Congress*, 2016, pp. 243–251.
14. Morais J.E., Silva A.J., Marinho D.A. et al. Modelling the Relationship between Biomechanics and Performance of Young Sprinting Swimmers. *European Journal Sport Science*, 2016, vol. 16 (6), pp. 1–8. DOI: 10.1080/17461391.2016.1149227
15. Olbrecht J. The Science of Swinning: Planning, Periodizing and Optimizing Swim Training. Antwerpen: F&G Partners, 2007. 282 p.
16. Bentley D.J., Roels B., Hellard P. et al. Physiological Responses During Submaximal Interval Swimming Training: Effects of Interval Duration. *Journal Science Medical Sport*, 2005, vol. 8 (4), pp. 392–402. DOI: 10.1016/S1440-2440(05)80054-4
17. Seifert L., Schnitzler Ch., Bideault G. et al. Relationships between Coordination, Active Drag and Propelling Efficiency in Crawl. *Human Movement Science*, 2015, vol. 39, pp. 55–64. DOI: 10.1016/j.humov.2014.10.009
18. Hellard P., Rodriguez F.A., Pyne D.B. et al. Simulated Physiological Responses During Interval Training Based on a Mathematical Model in an Olympic Champion. *Proceedings of the XIII BMS*, 2018, pp. 264–273.
19. Hay H.G., do Carmo J. Swimming Techniques Used in the Flume Differ from Those Used in a Pool. *Proceedings XV Congress of the International Society of Biomechanics*, 1995, pp. 372–373.
20. Wilson B., Takagi H., Pease D. Technique Comparison of Pool and Flume Swimming. *Proceedings of the VIII BMS*, 1999, pp. 181–184.
21. Zamparo P., Cortesi M., Gatta G. The Energy Cost of Swimming and its Determinants. *European Journal Appl Physiology*, 2020, vol. 120, pp. 41–66. DOI: 10.1007/s00421-019-04270-y
22. Kolmogorov S.V., Vorontsov A.R., Vilas-Boas J.P. Metabolic Power, Active Drag, Mechanical and Propelling Efficiency of Elite Swimmers at 100 Meter Events in Different Competitive Swimming Techniques. *Appl Science*, 2021, vol. 11, p. 8511. DOI: 10.3390/app11188511
23. Greenshields J.T., Skutnik B.C., Stickels C.M. et al. Validation of a Single Repetition Test to Measure Swimming Power. *Proceedings of the XIII BMS*, 2018, pp. 255–259.
24. Zacca R., Lopes A., Teixeira B. et al. VO₂ Assessed by Backward Extrapolation in 200, 400, 800, and 1500 m front Crawl in Youth Swimmers. *Proceedings of the XII BMS*, 2014, pp. 530–536.
25. Sousa A.C., Vilas-Boas J.P., Fernandes R.J., Figueiredo P. VO₂ at Maximal and Supramaximal Intensities: Lessons to High Interval Training in Swimming. *Int Journal Sports Physiology Performance*, 2016, vol. 12 (7), pp. 872–877. DOI: 10.1123/ijsp.2016-0475

Информация об авторах

Колмогоров Сергей Валентинович, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры спортивных дисциплин, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. Россия, 163002, Архангельск, набережная Северной Двины, д. 17.

Воронцов Андрей Ростиславович, кандидат педагогических наук, доцент, главный тренер университета по плаванию, Университет Бата, Бат, Великобритания.

Румянцева Ольга Анатольевна, кандидат педагогических наук, доцент, зав. кафедрой спортивных дисциплин, Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. Россия, 163002, Архангельск, набережная Северной Двины, д. 17.

Information about the authors

Sergey V. Kolmogorov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor at the Department of Sport, Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia.

Andery R. Vorontsov, Candidate of Psychological Sciences, University of Bath, Bath, United Kingdom.

Olga A. Rumyantseva, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Sport, Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia.

Статья поступила в редакцию 15.04.2022

The article was submitted 15.04.2022