

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.1>

УДК: 612.111:612.112:797.2

Тип статьи: Оригинальная статья/ Original Research



Оценка функционального состояния организма высококвалифицированных пловцов на основе анализа корреляций и динамики показателей морфологического состава крови после нагрузочного тестирования

А.З. Даутова*, Ф.А. Мавлиев, Д.А. Дрожецкий, А.А. Зверев, А.С. Назаренко

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма»,
Казань, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель: оценка связей и динамики гематологических показателей до и после нагрузочного тестирования у высококвалифицированных пловцов-спринтеров.

Материалы и методы: обследовано 16 высококвалифицированных пловцов мужского ($n = 8$) и женского ($n = 8$) пола в возрасте $19,31 \pm 1,08$ года. У спортсменов проводили забор венозной крови до и после физической нагрузки. Оценивались основные эритроцитарные, лейкоцитарные и тромбоцитарные индексы на анализаторе Nihon Kohden MEK-7222 (Япония). В качестве физической нагрузки использовался ступенчато-возрастающий тест на эргометре до отказа. С помощью корреляционного анализа изучены взаимосвязи между показателями крови.

Результаты: установлено значительное варьирование гематологических показателей крови у спортсменов-пловцов как в покое, так и после физической нагрузки. Как у мужчин, так и у женщин с увеличением числа эритроцитов наблюдалось повышение гематокрита. При этом у женщин-спортсменок рост эритроцитарных показателей сопровождался снижением тромбоцитарных индексов. У пловцов-мужчин обнаружены обратные связи преимущественно только между лейкоцитарными индексами крови. У спортсменок количество прямых и обратных связей после нагрузочного тестирования сохранялось на том же уровне, что и в состоянии относительного покоя, тогда как у мужчин-пловцов после физической нагрузки уменьшалось количество прямых корреляций. Обратная зависимость между числом эритроцитов и их средним объемом как критерий наилучшей подготовленности спортсменов не обнаружена ни у женщин, ни у мужчин — пловцов.

Заключение: тренировочный эффект спортсменок проявлялся формированием различных взаимозависимостей между показателями крови, что свидетельствует о лучшей адаптации системы крови к тренировочным нагрузкам. Тогда как у мужчин-пловцов картина взаимосвязей указывает на наличие напряженности регуляторных механизмов.

Ключевые слова: гематология, гематологические индексы, адаптация, нагрузочное тестирование, пловцы

Благодарности: работа выполнена в рамках государственного задания (НИОКТР 123100600294-2).

Для цитирования: Даутова А.З., Мавлиев Ф.А., Дрожецкий Д.А., Зверев А.А., Назаренко А.С. Оценка функционального состояния организма высококвалифицированных пловцов на основе анализа корреляций и динамики показателей морфологического состава крови после нагрузочного тестирования. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(2):24–33. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.1>

Поступила в редакцию: 01.06.2024

Принята к публикации: 26.07.2024

Online first: 08.10.2024

Опубликована: 15.12.2024.

* Автор, ответственный за переписку

Assessment of the functional state of the body of highly qualified swimmers based on the analysis of correlations and dynamics of indicators of the morphological composition of the blood after the stress test

Al'bina Z. Dautova*, Fanis A. Mavliev, Dmitry A. Drozhetsky, Alexey A. Zverev, Andrey S. Nazarenko

Volga Region State University, Kazan, Russia

ABSTRACT

Objective: to evaluate the interactions and dynamics of hematological parameters before and after exercise testing in high performance sprint swimmers.

Materials and methods: 16 male ($n = 8$) and female ($n = 8$) high-performance swimmers (19.31 ± 1.08 years) were studied. Venous blood samples were taken before and after exercise. Erythrocyte, leukocyte and platelet indices were assessed. Physical activity was a stepwise incremental test on an ergometer until failure.

Results: a significant variation in hematological blood parameters was found in the swimmers both at rest and after exercise. In both men and women an increase in haematocrit was observed with an increase in erythrocyte count. The increase in erythrocyte indices was accompanied by a decrease in platelet indices in female athletes. In males, inverse relationships were mainly found only between the leukocyte blood indices. In female athletes, the number of direct and feedback correlations after exercise remained at the same level as at rest, whereas in men the number of direct correlations decreased after exercise.

Conclusion: the training effect in females was manifested by the formation of several interdependencies between blood parameters, indicating a better adaptation of the blood system to the training load. In men, on the other hand, the pattern of relationships indicates the presence of tension in the regulatory mechanisms.

Keywords: hematology, hematologic indices, adaptation, stress testing, swimmers

Acknowledgements: The work was carried out as part of a government contract (№123100600294-2).

For citation: Dautova A.Z, Mavliev F.A., Drozhetsky D.A., Zverev A.A., Nazarenko A.S. Assessment of the functional state of the body of highly qualified swimmers based on the analysis of correlations and dynamics of indicators of the morphological composition of the blood after the stress test. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(2):24–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.2.1>

Received: 01 June 2024

Accepted: 26 July 2024

Online first: 08 October 2024

Published: 15 December 2024

*Corresponding author

1. Введение

Система крови занимает одно из ведущих мест в энергетическом обеспечении мышечной деятельности, формировании различных путей и способов адаптации организма к действию физических нагрузок [1–5]. Параметры крови также используются для оценки состояния здоровья, выявления хронического стресса, воспаления, усталости или предотвращения травм у спортсменов [6].

Количественные показатели красной крови могут давать информацию о состоянии дыхательной функции крови и обеспеченности крови кислородом. К тому же эритроциты способствуют расширению кровеносных сосудов и усилению кровотока через работающие мышцы путем высвобождения аденозинтрифосфата (АТФ) и оксида азота (NO), а гемоглобин (Hb) поддерживает рН крови путем транспорта диоксида углерода (CO_2) и ионов водорода (H^+) в форме ионов бикарбоната (HCO_3^-) [7]. Изучение лейкоцитарного звена крови позволяет оценить переносимость тренировочных нагрузок и наличие перенапряжения иммунной системы [6, 8, 9], а также позволяет прогнозировать функциональный ответ организма спортсмена на физические нагрузки

[10]. Косвенную информацию о скорости кровотока можно получить, исследуя тромбоцитарное звено [11].

Однако на сегодня основные представления о диагностической значимости гематологических параметров в физиологии спортивной деятельности сводятся к тому, насколько они укладываются в диапазон нормальных для здоровых лиц величин, а их постнагрузочные сдвиги неоднозначны и объясняются в основном фазовыми перераспределительными реакциями [3, 4, 10].

Несмотря на то что влияние физических нагрузок на гематологические параметры в литературе описано достаточно подробно [1, 3, 4, 10, 12], исследований, посвященных изучению изменений гематологических показателей, вызванных физической нагрузкой, у квалифицированных пловцов-спринтеров в настоящее время, вероятнее всего, не существует. В связи с этим представляется актуальным изучение изменений параметров крови при выполнении упражнений возрастающей интенсивности у пловцов-спринтеров.

Цель исследования: оценка связей и динамики гематологических показателей до и после нагрузочно-го тестирования у высококвалифицированных пловцов-спринтеров.

2. Методы исследования

Участники

В исследовании приняли участие 16 высококвалифицированных пловцов мужского ($180,75 \pm 7,69$ см, $70,62 \pm 8,50$ кг) и женского ($176,37 \pm 5,29$ см, $64,87 \pm 3,91$ кг) пола в возрасте $19,31 \pm 1,08$ года, специализирующиеся на коротких дистанциях (50–100 м), являющихся призерами всероссийских соревнований и чемпионатов Российской Федерации. На момент обследования 15 спортсменов являлись мастерами спорта, один — кандидатом в мастера спорта.

Перед проведением нагрузочного тестирования и забора крови спортсмены проходили осмотр у спортивного врача. Критерием включения в обследование являлось отсутствие симптомов респираторных, хронических заболеваний в стадии обострения и других воспалительных процессов на момент осмотра. Также все испытуемые прошли ежегодный углубленный медицинский осмотр, по результатам которого были отнесены к I группе здоровья. Исследование проводилось на подготовительном этапе тренировочного цикла. У всех спортсменов еженедельный объем тренировок составлял $74,6 \pm 2,96$ км/нед.⁻¹. Обследуемые были проинформированы о целях и задачах исследования и подписали добровольное согласие на участие. Протокол исследования одобрен Этическим комитетом (протокол № 2, от 26.05.2023 г.).

Гематологический анализ

Образцы крови получали методом пункции асептическим методом из вены локтевой ямки. Забор крови проводился натощак в утренние часы на следующий день после дня отдыха (без тренировок). Для гематологического исследования использовали пробирки Vacutainer (3 мл) с ЭДТА-К3 в качестве антикоагулянта. На автоматическом гематологическом анализаторе Nihon Kohden MEK-7222 (Япония) проводили оценку эритроцитарных, лейкоцитарных и тромбоцитарных индексов. Определяли число эритроцитов (RBC, $10^{12}/л$), средний объем эритроцитов (MCV, фл), общее содержание гемоглобина (HGB, г/л), гематокрит (HCT, %), среднее содержание (MCH, пг) и концентрацию гемоглобина в клетке (MCHC, г/л), ширину распределения эритроцитов (RDW, %CV), число лейкоцитов (WBC, $10^9/л$), абсолютное и относительное содержание нейтрофилов (NE, $10^9/л$ и %), лимфоцитов (LY, $10^9/л$ и %), моноцитов (MO, $10^9/л$ и %), эозинофилов (EO, $10^9/л$ и %), базофилов (BA, $10^9/л$ и %), число тромбоцитов (PLT, $10^9/л$), тромбоцит (PCT, %), средний объем тромбоцитов (MPV, фл), ширину распределения тромбоцитов (PDW, %).

Нагрузочное тестирование

Применялось нагрузочное тестирование с повышающейся нагрузкой: двухминутная разминка, тестовая нагрузка с динамикой возрастания 1 км/ч в минуту начиная с 7 км/ч. В конце проводилась двухминутная заминка.

Тестовый стенд представлял собой тредбан Cosmos Quasar и газоанализатор Metalyzer 3B (Германия).

Статистический анализ

Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакета программ Microsoft Office Excel и Statistics 10.0 (StatSoft Inc., США). Количественные данные были проверены на нормальность распределения с помощью теста Шапиро — Уилка. Данные, имеющие нормальное распределение, были представлены в виде среднего значения (M), стандартного отклонения (SD), минимального (Min) и максимального (Max) значения. Данные, не подчиняющиеся законам нормального распределения, — в виде медианы (Me) и границы процентов [Q1; Q4]. Также рассчитывался коэффициент вариации показателей.

Для выявления корреляций между гематологическими параметрами применяли ранговый коэффициент корреляции Спирмена (r). Проверку статистических гипотез о статистической значимости различий средних величин осуществляли с использованием t -критерия Стьюдента для зависимых выборок и критерий Вилкоксона. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

3. Результаты исследования

В состоянии относительного покоя у спортсменок средние значения и медиана показателей крови находились в пределах физиологической нормы (табл. 1). Однако у нескольких спортсменок значения некоторых гематологических параметров выходили за пределы референсного уровня, что, возможно, обусловлено неодинаковыми адаптационными возможностями организма к тренировочным нагрузкам. У всех спортсменок значение PDW было на уровне верхней границы нормы ($17,7 \pm 0,33\%$) и у одной спортсменки выходило за пределы референсного уровня (18,3 фл), также у данной спортсменки наблюдался более низкий уровень HCT (34%). У одной из обследованных спортсменок была повышена концентрация гемоглобина в крови (148 г/л) (табл. 1).

После выполнения нагрузочного тестирования на эргометре у спортсменок наблюдалось повышение абсолютных показателей белой крови ($p < 0,001$), количественных показателей красной крови ($p < 0,01$), рост среднего объема тромбоцитов ($p < 0,05$), величины тромбоцита ($p < 0,001$) и снижение относительного значения эозинофилов ($p < 0,01$). Индивидуальный анализ гематологических индексов сразу после выполнения предельной физической нагрузки позволил установить, что у одной из обследованных спортсменок наблюдалось снижение эритроцитов, гемоглобина, гематокрита относительно уровня покоя на фоне повышения числа тромбоцитов, тромбоцита и значительного повышения СОЭ (табл. 1).

Средние значения и медиана гематологических индексов у пловцов мужского пола находились в пределах

Таблица 1

Сравнительный анализ параметров крови у женщин-пловцов до и после ступенчато повышающейся нагрузки

Table 1

Comparative analysis of blood parameters in female swimmers before and after a gradually increasing exercise load

Показатель	До нагрузки				После нагрузки				Референсный диапазон
	M/Me	SD/Q1; Q2	Min	Max	M/Me	SD/Q1; Q2	Min	Max	
WBC (10 ⁹ /л)	5,15*	1,02	3,70	7,00	10,20*	2,61	7,10	13,90	4–9
NE (10 ⁹ /л)	2,81*	0,66	1,80	3,80	5,18*	1,74	3,60	9,10	1,7–7,7
LY (10 ⁹ /л)	1,76*	0,46	1,20	2,60	3,90*	1,66	2,60	7,40	0,4–4,4
MO (10 ⁹ /л)	0,39*	0,08	0,30	0,50	0,86*	0,31	0,50	1,30	0,0–0,8
EO (10 ⁹ /л)	0,10	0,10; 0,10	0,10	0,20	0,10	0,10; 0,15	0,10	0,30	0,0–0,6
BA (10 ⁹ /л)	0,10	0,05; 0,10	0,00	0,10	0,10	0,10; 0,15	0,10	0,20	0,0–0,2
NE (%)	54,90	51,65; 56,80	50,50	68,20	50,90	45,10; 57,95	34,30	66,50	42–74
LY (%)	33,94	5,07	23,40	39,20	37,83	9,18	26,10	53,60	18–40
MO (%)	7,19	1,37	5,00	8,70	8,5	2,10	5,80	11,60	0,0–11
EO (%)	1,95*	1,35; 2,10	1,20	4,60	1,20*	0,90; 1,45	0,80	3,70	0,0–6,0
BA (%)	1,13	0,47	0,50	2,10	1,11	0,26	0,80	1,50	0,0–1,0
RBC (10 ¹² /л)	4,24*	0,30	3,92	4,71	4,38*	0,24	4,10	4,83	3,6–4,6
HGB (г/л)	129,63*	8,85	121,00	148,00	135,00*	5,61	128,00	145,00	120–147
HCT (%)	36,91*	2,23	34,00	41,10	38,30*	1,48	36,20	40,90	35,2–46,7
MCV (фл)	88,5	86,25; 89,80	78,60	90,70	88,70	86,75; 90,20	78,70	91,30	80–100
MCH (пг)	31,30	30,35; 31,80	26,50	31,90	31,50	30,50; 31,80	27,30	32,20	27,0–32,0
MCHC (г/л)	351,00	7,19	338,00	360,00	352,63	5,32	347,00	362,00	320–360
RDW (%CV)	12,80	12,55; 13,15	12,20	14,90	12,90	12,60; 13,40	12,30	14,90	10,0–16,5
PLT (10 ⁹ /л)	240,75	46,63	182,00	317,00	294,38	49,65	202,00	361,00	180–350
PCT (%)	0,18*	0,04	0,14	0,23	0,23*	0,04	0,19	0,27	0,19–0,40
MPV (фл)	7,45*	1,21	5,50	9,30	7,78*	1,33	5,60	9,60	5,0–10,0
PDW (%)	17,70	0,33	17,10	18,30	17,54	0,51	16,80	18,40	12,0–18,0
СОЭ (мм/ч)	3,63*	2,26	1,00	8,00	11,75*	5,23	4,00	19,00	0–20

Примечание: * — статистически значимое изменение показателя после физической нагрузки, $p < 0,05$.

физиологической нормы (табл. 2). Но при этом минимальные и максимальные значения указывают на значительную вариацию некоторых параметров, в большей степени выраженные в отношении параметров белой крови. Наибольшая вариация установлена для абсолютного содержания BA (61,7%), относительного содержания EO (66,9%). У большинства спортсменов на уровне верхней границы нормы находились относительное содержание MO, EO и BA (11,1%, 6,3%, 1,4%) (табл. 2).

Для оценки взаимосвязи гематологических параметров в состоянии относительного покоя и после выполнения нагрузочного тестирования был проведен корреляционный анализ (рис. 1 и 2).

В прямой зависимости между собой в состоянии покоя у спортсменок находились WBC с абсолютным содержанием NE ($p = 0,01$), LY ($p = 0,03$) и MO ($p = 0,03$),

величина HCT с RBC ($p = 0,006$), содержанием HGB ($p = 0,019$) и PCT ($p = 0,039$), PCT с относительным содержанием LY ($p = 0,01$), RBC ($p = 0,009$) и HCT ($p = 0,03$), а также MCV с MCH ($p = 0,008$). В этой группе обратные взаимосвязи выявлялись между PDW с RBC ($p = 0,01$), HCT ($p = 0,02$) и PCT ($p = 0,02$), RDW с MCH ($p = 0,014$) и MCHC ($p = 0,013$), а также относительным содержанием NE с LY ($p = 0,001$) и PCT ($p = 0,01$) (рис. 1 а).

После физической нагрузки картина взаимосвязи гематологических показателей у спортсменок меняется, но при этом суммарное количество прямых и обратных связей сохранялось прежним. В прямой зависимости между собой после физической нагрузки наиболее часто находились WBC с абсолютным содержанием NE ($p = 0,04$), LY ($p = 0,021$), MO ($p = 0,021$), PLT ($p = 0,028$) и СОЭ ($p = 0,009$); СОЭ с абсолютным содержанием

Таблица 2

Сравнительный анализ параметров крови у мужчин-пловцов до и после ступенчато повышающейся нагрузки

Table 2

Comparative analysis of blood parameters in male swimmers before and after a gradually increasing exercise load

Показатель	До нагрузки				После нагрузки				Референсный диапазон
	M/Me	SD/Q1; Q2	Min	Max	M/Me	SD/Q1; Q2	Min	Max	
WBC (10 ⁹ /л)	4,75*	4,30; 5,85	4,10	13,30	9,10*	6,90;10,5	6,30	15,60	4–9
NE (10 ⁹ /л)	2,35*	2,0; 3,50	1,90	11,20	3,95*	3,0; 5,15	2,50	12,60	1,7–7,7
LY (10 ⁹ /л)	1,64*	0,39	1,20	2,30	3,34*	1,24	1,80	5,40	0,4–4,4
MO (10 ⁹ /л)	0,45*	0,17	0,20	0,80	0,83*	0,20	0,50	1,10	0,0–0,8
EO (10 ⁹ /л)	0,10	0,10; 0,15	0,10	0,30	0,20	0,10; 0,20	0,10	0,40	0,0–0,6
BA (10 ⁹ /л)	0,10	0,05; 0,10	0,00	0,10	0,10	0,10; 0,10	0,10	0,10	0,0–0,2
NE (%)	55,79*	14,01	42,90	84,10	49,44*	14,99	35,80	81,30	42–74
LY (%)	32,51*	12,03	9,10	44,10	38,48*	13,24	11,40	53,00	18–40
MO (%)	8,00*	1,75	5,70	11,10	8,90*	1,89	6,20	11,80	0,0–11
EO (%)	2,68	1,79	0,70	6,30	2,11	1,54	0,70	5,30	0,0–6,0
BA (%)	1,05	1,0; 1,30	0,10	1,40	1,20	0,80; 1,35	0,40	1,50	0,0–1,0
RBC (10 ¹² /л)	4,93*	0,27	4,57	5,29	5,08*	0,30	4,56	5,42	4,1–5,2
HGB (г/л)	153,00	10,92*	138,00	173,00	157,88*	10,99	144,00	176,00	120–160
HCT (%)	43,13	2,73*	39,10	47,60	44,50*	2,76	40,40	48,50	40,0–50,0
MCV (фл)	87,45	2,04	84,40	90,00	87,60	1,89	85,10	90,00	80–100
MCH (пг)	31,01	0,93	29,80	32,70	31,09	1,05	29,30	32,70	27,0–32,0
MCHC (г/л)	354,50	5,61	343,00	363,00	354,50	6,23	344,00	363,00	320–360
RDW (%CV)	12,84	0,38	12,20	13,40	12,88	0,51	12,20	13,60	10,0–16,5
PLT (10 ⁹ /л)	189,50	36,02*	142,00	247,00	239,25*	56,97	156,00	307,00	180–350
PCT (%)	0,12	0,02*	0,10	0,15	0,17*	0,04	0,11	0,22	0,19–0,40
MPV (фл)	6,43	0,83*	5,30	7,80	6,93*	0,92	5,60	8,60	5,0–10,0
PDW (%)	17,51	0,46	17,00	18,40	17,74	0,32	17,30	18,30	12,0–18,0
СОЭ (мм/ч)	3,38	1,69*	1,00	6,00	9,13*	5,94	2,00	17,00	0–15

Примечание: * — статистически значимое изменение показателя после физической нагрузки, $p < 0,05$.

LY ($p = 0,004$) и MO ($p = 0,018$), а также HCT с HGB ($p = 0,0006$) и MCV с MCH ($p = 0,03$). Наибольшее количество обратных связей было установлено между PLT с WBC ($p = 0,01$) и абсолютным числом NE ($p = 0,028$), PDW с содержанием HGB ($p = 0,014$) и HCT ($p = 0,015$), RDW с относительным содержанием MO ($p = 0,0002$), а также BA ($p = 0,04$) и MCHC ($p = 0,008$) (рис. 1 б).

У мужчин-пловцов в состоянии относительного покоя наибольшее количество прямых связей установлено между абсолютным содержанием EO с относительным (EO%) ($p = 0,025$), MCH ($p = 0,025$) и MCHC ($p = 0,021$), PCT ($p = 0,039$) и СОЭ ($p = 0,024$), RBC с абсолютным и относительным содержанием BA ($p = 0,03$ и $p = 0,037$ соответственно), HGB ($p = 0,00006$), HCT ($p = 0,00026$) и PCT ($p = 0,028$), а также HGB с абсолютным числом BA ($p = 0,028$), относительным содержанием MO ($p = 0,044$),

RBC ($p = 0,00006$), HCT ($p = 0,0001$) и PCT ($p = 0,012$). Обратные связи были обнаружены между NE% с абсолютным ($p = 0,025$) и относительным содержанием LY ($p = 0,001$), EO ($p = 0,038$ и $p = 0,01$ соответственно) и СОЭ ($p = 0,048$), а также LY% с WBC ($p = 0,04$), абсолютным содержанием NE ($p = 0,019$), MO ($p = 0,012$) и MCH с RDW ($p = 0,031$) (рис. 2 а).

Картина взаимосвязей гематологических показателей после физической нагрузки у мужчин-пловцов не имела явно выраженных отличий от корреляций, наблюдаемых в покое. В то же время у них уменьшалось количество прямых связей между параметрами крови после физической нагрузки. Наибольшее количество прямых связей обнаруживалось между HGB с MO% ($p = 0,028$), RBC ($p = 0,028$), HCT ($p = 0,00003$), PLT ($p = 0,0008$) и PCT ($p = 0,012$), PCT с абсолютным

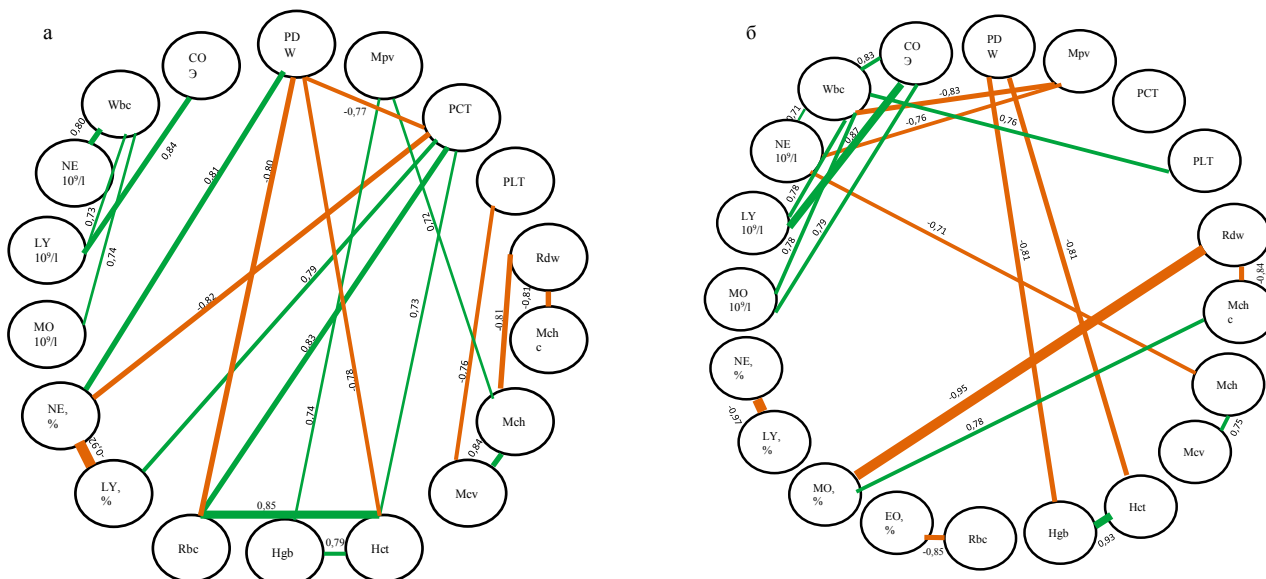


Рис. 1. Сетевое представление корреляционных связей между параметрами крови у женщин, занимающихся плаванием: а — в состоянии относительного покоя; б — после нагрузочного тестирования.

Примечание: цвет линий обозначает направление связи, толщина линий — силу корреляций:

- положительная взаимосвязь между параметрами;
- отрицательная взаимосвязь между параметрами.

На рисунке представлены только статистически значимые корреляции, $p < 0,05$.

Fig. 1. Network representation of correlations between blood parameters in women swimming: a — at relative rest; b — after exercise testing.

Note: the colour of the lines is an indication of the direction of the correlation, and the thickness of the lines an indication of the strength of the correlation:

- positive correlation between parameters;
- negative relationship between parameters.

Figure shows only statistically significant correlations, $p < 0.05$.

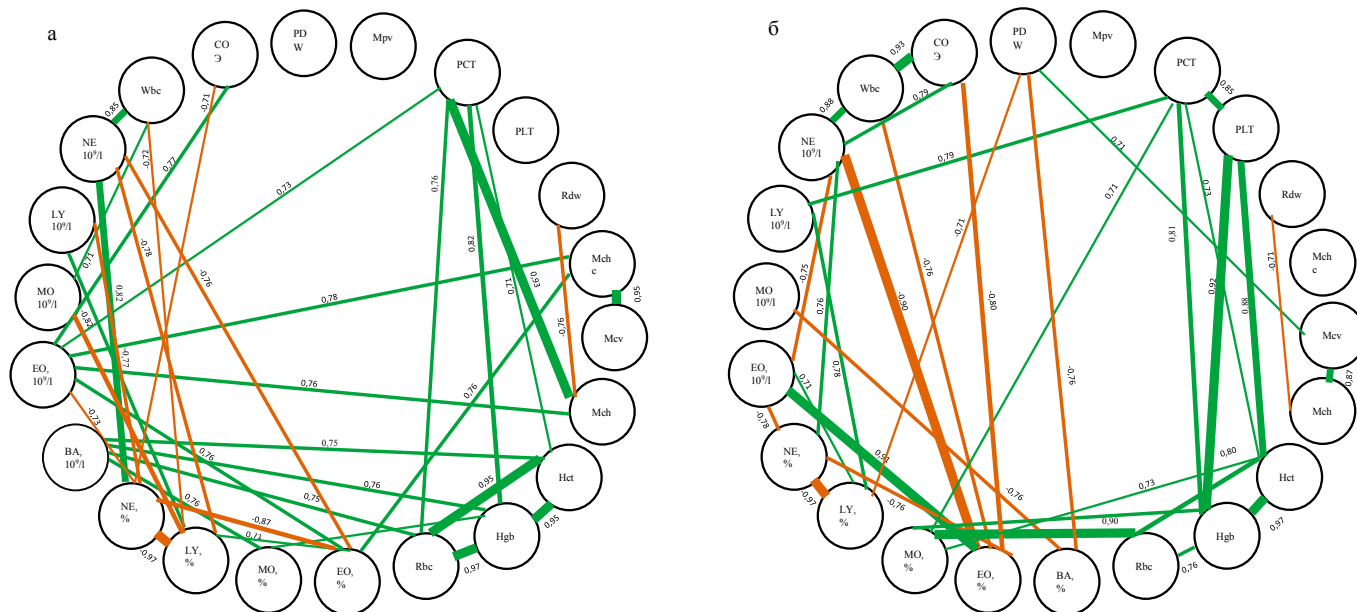


Рис. 2. Сетевое представление корреляционных связей между параметрами крови у мужчин-пловцов: а — в состоянии относительного покоя; б — после ступенчато повышающейся нагрузки.

Примечание: цвет линий обозначает направление связи, толщина линий обозначает силу корреляций:

- положительная взаимосвязь между исследуемыми параметрами;
- отрицательная взаимосвязь между исследуемыми параметрами.

На рисунке представлены только статистически значимые корреляции, $p < 0,05$.

Fig. 2. Network representation of correlations between blood parameters in men swimming: a — at relative rest; b — after exercise testing.

Note: the colour of the lines is an indication of the direction of the correlation, and the thickness of the lines an indication of the strength of the correlation:

- positive correlation between parameters;
- negative relationship between parameters.

Figure shows only statistically significant correlations, $p < 0.05$.

содержанием LY ($p = 0,018$), относительным содержанием MO ($p = 0,04$), HGB ($p = 0,012$), HCT ($p = 0,027$) и PLT ($p = 0,006$), а также MCV с MCH ($p = 0,004$) и PDW ($p = 0,04$). Обратные связи обнаруживались между EO % с WBC ($p = 0,02$), абсолютным и относительным содержанием NE ($p = 0,002$ и $p = 0,028$ соответственно), с СОЭ ($p = 0,016$), а также PDW с относительным содержанием LY ($p = 0,04$), BA ($p = 0,04$) и LY % с NE % ($p = 0,00003$) и PDW ($p = 0,04$).

4. Обсуждение результатов

У пловцов как мужского, так и женского пола были обнаружены отклонения от физиологической нормы значений некоторых гематологических индексов. Как известно, под влиянием тренировочной деятельности показатели крови могут варьировать в широких пределах и, в отдельных случаях, находиться выше или ниже границ нормы [3, 4]. Однако изменения многих показателей крови, вызванные интенсивными физическими упражнениями, тренировками и соревнованиями, не следует рассматривать как патологические [12]. Тем не менее считается, что чем более адаптирован спортсмен к физическим нагрузкам, тем меньше вариабельность показателей крови [1].

По результатам настоящего исследования, наибольший коэффициент вариации наблюдался у лейкоцитарных индексов (у женщин вариация достигала 62%, у мужчин — 87%); в меньшей степени варьировали эритроцитарные индексы (2–7% как у мужчин, так и у женщин), тромбоцитарные индексы варьировали от 1,86% (PDW) до 23,83% (PCT).

Индивидуальный анализ показал, что в состоянии относительного покоя у одной спортсменки содержание HGB превышало физиологическую норму. После нагрузочного тестирования его уровень снижался относительно покоя, но при этом он продолжал оставаться выше референсного диапазона. У трех спортсменок величина HCT была ниже референсного уровня. Снижение уровня HGB под влиянием тренировочных нагрузок некоторыми авторами рассматривается в качестве важного индикатора плохой переносимости тренировочных нагрузок [13]. Сообщалось, что HGB и HCT снижаются в периоды более интенсивных тренировок на протяжении всего сезона. В различных видах спорта снижение HGB в течение соревновательного сезона колеблется от 3 до 8%, а содержание ретикулоцитов — от 5 до 21% [14]. Исследования, проводимые с участием пловцов, продемонстрировали, что значительные изменения эритроцитарных индексов (снижение HCT и MCV) наблюдались в период, когда они проводили тренировки на выносливость со средним ежедневным объемом 7054 м в течение трех недель [15].

По результатам данного исследования, у пловцов мужского пола значение HGB было либо в пределах физиологической нормы, либо превышало референсный уровень, а также сопровождалось повышением других

эритроцитарных индексов. Известно, что к повышению HCT у спортсменов приводят различные ситуации, связанные не только со спецификой тренировочного процесса, но и микроповреждениями мышц и отсроченной мышечной болезненностью [8]. Высокий уровень HCT повышает вязкость крови, что может вызвать дополнительную нагрузку на сердце и, следовательно, увеличить риск перенапряжения миокарда [7, 16].

Наиболее благоприятным механизмом адаптации организма к физическим нагрузкам является повышение объема циркулирующей крови и плазмы, а также MCH за счет ускорения процессов осмозиса, способствующих выходу жидкости из эритроцитов в плазму [17]. Исходя из этих позиций, уменьшение MCV может быть проявлением лучшей адаптации организма к физической нагрузке [10], тогда как рост корпускулярного объема эритроцитов может рассматриваться как один из ранних признаков дефицита железа или витамина B12 [18]. Таким образом, в качестве главного фактора оценки эффективности тренировочного процесса и лучшей подготовленности спортсменов некоторыми авторами используется наличие в результатах анализа крови отрицательной взаимосвязи между числом эритроцитов и их средним эффективным объемом [1, 10].

В проведенном исследовании в обеих обследованных группах не обнаружена обратная связь между числом эритроцитов и их средним объемом ни в состоянии относительного покоя, ни после выполнения физической нагрузки. Это может указывать на ухудшение процессов внутрисистемной регуляции, регламентирующих увеличение HCT, от величины которого в значительной степени зависят реология крови, а значит, и доставка кислорода к работающим органам и тканям. В то же время индивидуальный анализ эритроцитарных индексов позволил установить, что у трех пловцов отмечалось уменьшение среднего корпускулярного объема эритроцитов, и при этом увеличение RBC и MCH.

Mujika и соавт. наблюдали значительное повышение HGB, MCV, MCH и MCHC у пловцов-мужчин, принимавших участие в 12-недельной программе тренировок с пиковым еженедельным объемом $50,0 \pm 18,9$ км/нед.⁻¹ [19]. В исследовании Santhiago и соавт. было показано, что в период высокоинтенсивных тренировок, когда спортсмены выполняли самый высокий общий ежедневный объем нагрузок (8004 метров в сутки) и начинали серию высокоинтенсивных тренировок, включающих нагрузки выше анаэробного порога, уменьшался объем плазмы и увеличивался HCT и MCV [15]. Пловцы, принявшие участие в проведенном исследовании, также имели высокий общий еженедельный объем нагрузок ($74,6 \pm 2,96$ км в неделю). При этом реакция на кратковременную, но предельную нагрузку характеризовалась повышением только количественных параметров красной крови (RBC, HCT, HGB), а качественные показатели крови (MCH, MCHC, MCV) сохранялись практически на том же уровне, что и в покое. В целом это согласуется

с результатами исследования Santhiago и соавт., где в период интенсивных тренировок у мужчин-пловцов показатели МСН, МСНС и МСV приближались к значениям покоя, но при этом число эритроцитов и содержание гемоглобина превосходило уровень покоя [15].

Анализ корреляционных связей спортсменок продемонстрировал наличие разнонаправленных корреляций между различными индексами крови как в состоянии покоя, так и после выполнения физической нагрузки. Считается, что чем чаще и больше обнаруживаются обратные корреляции между параметрами крови, тем лучше адаптирован спортсмен, т.к. напряжение, приходящееся на функции различных звеньев крови, распределяется равномерно и позволяет глубже проявлять свои потенциальные возможности [10]. Наиболее важными являются связи, описывающие реологические характеристики крови, ее проходимость по капиллярам [20]. И наоборот, снижение или отсутствие числа обратных корреляционных связей может свидетельствовать о нарастании напряженности регуляторных механизмов. Количество прямых корреляций внутри эритроцитарного звена может указывать на повышение кислородной емкости крови и отражать эффективность тренировочного процесса. Так, у мужчин количество прямых корреляционных связей между показателями крови было больше, в том числе и внутри эритроцитарного звена, по сравнению с количеством положительных корреляций у женщин. При этом после выполнения физической нагрузки их число уменьшилось. Количество обратных корреляций было одинаковым как до, так и после выполнения физической нагрузки.

Под влиянием нагрузочного тестирования (с повышением до уровня максимального потребления кислорода) практически у всех спортсменов как мужского, так и женского пола возрастало число WBC, что в целом согласуется с данными литературы о повышении лейкоцитов после выполнения физической нагрузки [21, 22]. В то же время имеются данные литературы, указывающие на отсутствие существенных изменений уровней лейкоцитов, эозинофилов, лимфоцитов и моноцитов у мужчин и женщин — пловцов в течение 14-недельной программы тренировок [15]. Лейкоцитоз при кратковременной и интенсивной нагрузке в основном вызван увеличением количества лимфоцитов и нейтрофилов из-за повышения уровня адреналина в крови. Тогда как лейкоцитоз при длительной физической нагрузке (например, при марафоне) в основном обусловлен резким увеличением количества нейтрофилов и снижением лимфоцитов и эозинофилов, что главным образом связано с повышением уровня

кортизола в крови [21]. Обнаруженное большое количество обратных связей между лейкоцитарными индексами у мужчин может указывать на формирование различных неспецифических адаптационных реакций организма в ответ на мышечную деятельность, что требует отдельного изучения.

На основании описательной статистики и данных корреляционного анализа можно сказать, что у юношей-пловцов по сравнению со спортсменками более высокая кислородная емкость крови. При этом как в состоянии относительного покоя, так и после физической нагрузки у мужчин-пловцов не выявляются обратные связи между параметрами эритрона и тромбоцитарными индексами, что может свидетельствовать об ухудшении реологических свойств крови.

В перспективе необходимо провести оценку взаимосвязи между гематологическими показателями и результативностью пловцов и параметрами, характеризующими аэробную и анаэробную работоспособность. Стоит отметить, что для адекватной оценки функционального состояния организма спортсменов на основании картины крови необходимо учитывать результаты динамических наблюдений, а не разовых гематологических значений, при этом анализировать показатели при индивидуальном динамическом обследовании.

5. Заключение

Установлено варьирование гематологических показателей крови у спортсменов-пловцов. При этом средние значения параметров укладывались в референсные пределы, характерные для общей популяции.

У спортсменок количество прямых и обратных связей после нагрузочного тестирования сохранялось на том же уровне, что и в состоянии относительного покоя. У мужчин-пловцов количество обратных связей было меньше, чем прямых, как до, так и после нагрузки. После нагрузочного тестирования число прямых связей уменьшалось, что может указывать на ухудшение деятельности регуляторных функций организма.

Можно заключить, что отставленный тренировочный эффект, выраженный в специфике краткосрочной реакции гематологических показателей на физическую нагрузку у спортсменок, проявлялся формированием различных взаимозависимостей между показателями крови, что может свидетельствовать о лучшей адаптации системы крови к тренировочным нагрузкам. Тогда как у мужчин-пловцов картина взаимосвязей указывает на повышение кислородной емкости крови, но в то же время и на наличие напряженности регуляторных механизмов.

Вклад авторов:

Даутова Альбина Зуфаровна — концепция и дизайн исследования; сбор и анализ данных; статистический анализ данных; написание первой версии текста.

Мавлиев Фанис Азгатович — сбор материала; написание и редактирование текста.

Дрожецкий Дмитрий Анатольевич — сбор и анализ данных.

Зверев Алексей Анатольевич — написание и редактирование текста.

Назаренко Андрей Сергеевич — написание и редактирование текста.

Список литературы / References

1. **Нехвядович А.И., Будко А.Н.** Динамика гематологических показателей как критерий функционального состояния и тренированности спортсменов (по данным литературы). Прикладная спортивная наука. 2018;1(7):105–111. [Nekhvadovich A.I., Budko A.N. Dynamics of hematological parameters as a criterion of the functional state and fitness of athletes (according to literature data). Applied Sports Science. 2018;1(7):105–111. (In Russ.)].
2. **Ciekot-Softysiak M., Kusy K., Podgórski T., Pospieszna B., Zieliński J.** Changes in red blood cell parameters during incremental exercise in highly trained athletes of different sport specializations. Peer J. 2024;12:e17040. <https://doi.org/10.7717/peerj.17040>
3. **Díaz Martínez A.E., Alcaide Martín M.J., González-Gross M.** Basal Values of Biochemical and Hematological Parameters in Elite Athletes. Int. J. Environ. Res. Public Health. 2022;19(5):3059. <https://doi.org/10.3390/ijerph19053059>
4. **Гунина Л., Рыбина И., Котляренко Л.** Показатели гематологического гомеостаза в оценке функционального состояния спортсменов. Наука в олимпийском спорте. 2020;3:65–75. [Gunina L., Rybina I., Kotlyarenko L. Indicators of hematological homeostasis in assessing the functional state of athletes. Science in Olympic sports. 2020;3:65–75. (In Russ.)]. https://doi.org/10.32652/olympic2020.3_3
5. **Даутова А.З., Янышева Г.Г., Якубов Р.Ю., Назаренко А.С., Зверев А.А.** Взаимосвязь гематологических и биохимических параметров крови у спортсменов разных возрастных групп. Наука и спорт: современные тенденции. 2022;10(3):14–21. [Dautova A.Z., Yanysheva G.G., Yakubov R.Yu., Nazarenko A.S., Zverev A.A. The relationship between hematological and biochemical blood parameters in athletes of different age groups. Science AND Sport: current trends. 2022;10(3):14–21. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2022-10-3-14-21>
6. **Campbell J.P., Turner J.E.** Debunking the myth of exercise-induced immune suppression: Redefining the impact of exercise on immunological health across the lifespan. Front. Immunol. 2018;9:648. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.00648>
7. **Mairbäurl H.** Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells. Front. Physiology. 2013;4:332. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00332>
8. **Roklicer R., Lakicevic N., Stajer V., Trivic T., Bianco A., et al.** The effects of rapid weight loss on skeletal muscle in judo athletes. J. Transl. Med. 2020;18(1):142. <https://doi.org/10.1186/s12967-020-02315-x>
9. **Peake J.M., Neubauer O., Walsh N.P., Simpson R.J.** Recovery of the immune system after exercise. J. Appl. Physiol. (1985). 2017;122(5):1077–1087. <https://doi.org/10.1152/jap-physiol.00622.2016>

Authors' contributions:

Al'bina Z. Dautova — concept and design of the study; data collection and analysis; statistical analysis of data; writing the first version of the text.

Fanis A. Mavliev — collection of materials; writing and editing of text.

Dmitry A. Drozhetsky — data collection and analysis.

Alexey A. Zverev — writing and editing the text.

Andrey S. Nazarenko — writing and editing the text.

10. **Макарова Г.А., Колесникова Н.В., Скибицкий В.В., Барановская И.Б.** Диагностический потенциал картины крови у спортсменов. Москва: Спорт; 2020. [Makarova G.A., Kolesnikova N.V., Skibitsky V.V., Baranovskaya I.B. Diagnostic potential of blood picture in athletes. Moscow: Sport; 2020. (In Russ.)].

11. **Pasalic L., Pennings G.J., Connor D., Campbell H., Kritharides L., Chen V.M.** Flow Cytometry Protocols for Assessment of Platelet Function in Whole Blood. Methods Mol. Biol. 2017;1646: 369–389. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7196-1_28.

12. **Lombardo B., Izzo V., Terracciano D., Ranieri A., Mazzaccara C., Fimiani F., Cesaro A., Gentile L., Leggiere E., Pero R., et al.** Laboratory Medicine: Health Evaluation in Elite Athletes. Clin. Chem. Lab. Med. (CCLM). 2019;57(10):1450–1473. <https://doi.org/10.1515/cclm-2018-1107>

13. **Mercer K.W., Densmore J.J.** Hematologic disorders in the athlete. Clin. Sports Med. 2005;24(3):599–621. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2005.03.006>

14. **Banfi G., Lundby C., Robach P., Lippi G.** Seasonal variations of haematological parameters in athletes. Eur. J. Appl. Physiol. 2011;111(1):9–16. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1641-1>

15. **Santhiago V., da Silva A.S., Papoti M., Gobatto C.A.** Responses of hematological parameters and aerobic performance of elite men and women swimmers during a 14-week training program. J. Strength Cond. Res. 2009;23(4):1097–1105. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318194e088>

16. **Teległów A., Marchewka J., Tota Ł., et al.** Changes in blood rheological properties and biochemical markers after participation in the XTERRA Poland triathlon competition. Sci. Rep. 2022;12(1):3349. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07240-1>

17. **Montero D., Breenfeldt-Andersen A., Oberholzer L., Haider T., Goetze J.P., et al.** Erythropoiesis with endurance training: dynamics and mechanisms. Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 2017;312(6):R894–R902. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00012.2017>

18. **Montero D., Lundby C.** Regulation of Red Blood Cell Volume with Exercise Training. Compr. Physiol. 2018;9(1):149–164. <https://doi.org/10.1002/cphy.c180004>

19. **Mujika I., Padilla S., Geysant A., Chatard J.C.** Hematological responses to training and taper in competitive swimmers: relationships with performance. Arch. Physiol. Biochem. 1998;105(4):379–385.

20. **Даутова А.З., Исаева Е.Е., Шамратова В.Г.** Связи адренореактивности эритроцитов с их количественными и качественными характеристиками как способ оценки реологических свойств крови у лиц с разным уровнем двигательной активности. Спортивная медицина: наука и практика. 2021;11(3):5–11. [Dautova A.Z., Isaeva E.E., Shamratova V.G. Relationships between adrenoreactivity of erythrocytes and

their quantitative and qualitative characteristics as a way to assess the rheological properties of blood in individuals with different levels of motor activity. *Sports medicine: research and practice*. 2021;11(3):5–11. (In Russ.]. <https://doi.org/10.10.47529/2223-2524.2021.3.1>

21. **Lee E., Fragala M., Kavouras S., Queen R., Pryor J., Casa D.** Biomarkers in sports and exercise: Tracking health, performance,

and recovery in athletes. *J. Strength Cond. Res.* 2017;31(10):2920–2937. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002122>

22. **Dundar A., Kocahan S., Arslan C.** Effects of different loading exercises on apelin levels and physical and hematologic parameters of swimmers. *Horm Mol Biol Clin Investig.* 2019;38(2). <https://doi.org/10.1515/hmbci-2018-0070>

Информация об авторе:

Даутова Альбина Зуфаровна*, к.б.н., доцент кафедры медико-биологических дисциплин, старший научный сотрудник НИИ физической культуры и спорта ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Россия, 420138, Республика Татарстан, г. Казань, тер. Деревня Универсиады, 35 (dautova.az@mail.ru)

Мавлиев Фанис Азгатович, к.б.н., старший научный сотрудник НИИ физической культуры и спорта, доцент кафедры медико-биологических дисциплин ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Россия, 420138, Республика Татарстан, г. Казань, тер. Деревня Универсиады, 35 (fanis16rus@mail.ru)

Дрожецкий Дмитрий Анатольевич, старший преподаватель кафедры теории и методики водных видов спорта ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Россия, 420138, Республика Татарстан, г. Казань, тер. Деревня Универсиады, 35 (swimworld@mail.ru)

Зверев Алексей Анатольевич, к.б.н., доцент, директор НИИ физической культуры и спорта, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Россия, 420138, Республика Татарстан, г. Казань, тер. Деревня Универсиады, 35 (alekcei5@rambler.ru)

Назаренко Андрей Сергеевич, к.б.н., доцент, проректор по научной работе и международной деятельности, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Россия, 420010, Республика Татарстан, г. Казань, тер. Деревня Универсиады, 35 (hard@inbox.ru)

Information about the author:

Al'bina Z. Dautova*, Ph.D. (Biology), Associate Professor of the Department of Medical and Biological Disciplines, Senior Researcher at the Research Institute of Physical Culture and Sports of Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, 35 ter. Universiade Village, Kazan, 420138, Republic of Tatarstan, Russia (dautova.az@mail.ru)

Fanis A. Mavliev, Ph.D. (Biology), Associate Professor of the Department of Medical and Biological Disciplines, Senior Researcher at the Research Institute of Physical Culture and Sports of Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, 35 ter. Universiade Village, Kazan, 420138, Republic of Tatarstan, Russia (fanis16rus@mail.ru)

Dmitry A. Drozhetsky, Senior Lecturer, Department of Theory and Methodology of Aquatic Sports of the Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, 35 ter. Universiade Village, Kazan, 420138, Republic of Tatarstan, Russia (swimworld@mail.ru)

Alexey A. Zverev, Ph.D. (Biology), Associate Professor, Director of the Research Institute of Physical Culture and Sports, Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, 35 ter. Universiade Village, Kazan, 420138, Republic of Tatarstan, Russia (alekcei5@rambler.ru)

Andrey S. Nazarenko, Ph.D. (Biology), Associate Professor, Vice Rector for Research and International Activities, Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, 35 ter. Universiade Village, Kazan, 420138, Republic of Tatarstan, Russia (hard@inbox.ru).

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author