

Гематологические маркеры состояния функциональных систем высококвалифицированных пловцов в условиях среднегорной подготовки

Рязанцев Андрей Игоревич^{1,2}, Сафонова Светлана Николаевна³, Голомедов Михаил Романович¹

¹Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Россия

²Спортивная школа олимпийского резерва «Центр водных видов спорта», Новосибирск, Россия

³Сибирский государственный университет водного транспорта, Новосибирск, Россия

Аннотация. *Введение.* С целью оценки адаптации высококвалифицированных пловцов к условиям среднегорья было проведено исследование ряда гематологических показателей. *Методология.* Длительность наблюдения составила 1 месяц, в условиях среднегорья (1650 м над уровнем моря) спортсмены провели 21 день. В процессе эксперимента были изучены показатели общего анализа крови (эритроцитарные и лейкоцитарные характеристики), а также специфические маркеры состояния миоцитов (креатинкиназа) и кардиомиоцитов (тропонин-I). *Заключение.* В процессе эксперимента было показано, что у пловцов высокого класса физические нагрузки циклического характера в условиях среднегорья приводили к достоверному повышению эритроцитарных характеристик крови и специфических маркеров нарушения метаболизма мышц, при этом показатель инфаркта миокарда (тропонин-I), хотя и достоверно повышался, но все же находился в пределах референсных значений.

Ключевые слова: плавание; гипоксия; среднегорье; гематология; гематологический анализ; эритроциты; гемоглобин; креатинкиназа; тропонин-I.

Для цитирования: Рязанцев А. И., Сафонова С. Н., Голомедов М. Р. Гематологические маркеры состояния функциональных систем высококвалифицированных пловцов в условиях среднегорной подготовки // Физическая культура. Спорт. Здоровье. – 2024. – № 1. – С. 82–89.

Hematological markers of the state of functional systems of highly skilled swimmers in the conditions of medium mountain training

Ryazantsev Andrey Igorevich^{1,2}, Safonova Svetlana Nikolaevna³,
Golomedov Mikhail Romanovich¹

¹*Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia*

²*Olympic Reserve Sports School "Aquatic Sports Center", Novosibirsk, Russia*

³*Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia*

Abstract. *Introduction.* In order to assess the adaptation of highly skilled swimmers to the conditions of the middle mountains, a number of hematologic indices were investigated. *Methodology.* The duration of observation was 1 month, of which athletes spent 21 days in the conditions of the middle mountains (1650 m above sea level). In the course of the experiment, the indicators of general blood analysis (erythrocytic and leukocytic characteristics), as well as specific markers of myocyte (creatine kinase) and cardiomyocyte state (troponin-I) were studied. *Conclusion.* In the course of the experiment it was shown that in high-class swimmers cyclic physical activity in mid-mountain conditions led to a reliable increase in erythrocyte blood characteristics and specific markers of muscle metabolic disorders, while the index of myocardial infarction (troponin-I), although significantly increased, was still within the reference values.

Keywords: swimming; hypoxia; midlands; hematology; hematologic analysis; erythrocytes; hemoglobin; creatine kinase; troponin-I.

For citation: Ryazantsev A. I., Safonova S. N., Golomedov M. R. Hematological markers of the state of functional systems of highly skilled swimmers in the conditions of medium mountain training. *Physical Education. Sport. Health*, 2024, no. 1, pp. 82–89.

Введение. В последние несколько десятилетий увеличилось разнообразие эргогенных средств, применяемых в подготовке спортсменов [3; 4]. Например, если ранее была известна только одна форма подготовки в среднегорье, то сейчас мы можем выделить следующие: ЛНТН («жить высоко – тренироваться высоко», пер. с англ.), ЛНТН («жить высоко – тренироваться низко», пер. с англ.), ННН («высоко – высоко – низко», пер. с англ.), ЛНТЛО2 («жить высоко – тренироваться низко с дополнительным кислородом», пер. с англ.) и некоторые другие [1; 9; 10].

Тренировки в разных режимах, с разными климато-географическими особенностями приводят к развитию специфических структурно-компенсаторных адаптационных изменений в функциональных системах организма спортсменов [2]. Однако выполнение серьезных физических нагрузок в условиях дефицита кислорода может привести к снижению скорости регенерации клеточных и тканевых структур относительно скорости их повреждения, что будет способствовать развитию дезадаптации [7; 8]. В связи с чем особо важным остается контроль за состоянием метаболизма в период напряженных физических нагрузок. Поэтому с целью оценки адаптации высококвалифицированных пловцов к условиям среднегорья было проведено исследование ряда гематологических показателей.

Методология. В процессе эксперимента было обследовано 11 юношей-пловцов в возрасте 16–18 лет с квалификацией МС (4 человека) и КМС (7 человек).

Исследование проходило в двух климато-географических районах: на равнине – г. Новосибирск, Российская Федерация (высота не более 350 м над уровнем моря, атмосферное давление в пределах 720–770 мм. рт. ст.), и в горах – г. Чолпон-Ата, Республика Кыргызстан (высота 1650 м над уровнем моря, атмосферное давление в пределах 600–650 мм. рт. ст.).

Длительность исследования – 1 месяц, 21 день спортсмены пробыли в среднегорье (табл. 1). Этап подготовки: специальный. Использовалась преимущественно развивающая нагрузка (ЧСС до 190 уд/мин, лактат 15–20 и более ммоль/л) с включением поддерживающей и восстановительной нагрузок.

Оценка состояния функциональных систем проводилась путем изучения гематологических маркеров эритропоэза (RBC, HGB, HCT, MCV, MCH, MCHC, WBC, LYM, NEU, EOS, BAS, MONO, ESR) и специфических биохимических маркеров метаболизма миоцитов (креатинкиназа) и кардиомиоцитов (тропонин-I). Анализ гематологических показателей проводился лабораторией Гемотест путем забора венозной крови.

Полученные данные анализировались при помощи программы Statistica for Windows, метод математической статистики: t-критерия Стьюдента.

Исследование проводилось в соответствии с Хельсинской декларацией. Протокол обследования был одобрен на научном совете кафедры теоретических основ физической культуры Новосибирского государственного педагогического университета. У всех совершеннолетних спортсменов были получены письменные согласия на обработку персональных данных в рамках настоящего исследования, у всех несовершеннолетних спортсменов данные согласия были подписаны законными представителями.

Временные интервалы тренировочных мероприятий и гематологических анализов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Временные интервалы тренировочных мероприятий и гематологических анализов

№	Мероприятие	Климато-географический район	Дата/Период
1	Гематологический анализ	Равнина	25.02.2024 г.
2	Тренировочные мероприятия	Среднегорье	26.02. – 09.03.2024 г.
3	Гематологический анализ	Среднегорье	10.03.2024 г.
4	Тренировочные мероприятия	Среднегорье	11.03. – 17.03.2024 г.
5	Гематологический анализ	Равнина	18.03.2024 г.

Обсуждение. В табл. 2 представлены результаты гематологического исследования венозной крови высококвалифицированных пловцов при тренировке в разных климато-географических условиях.

При помещении человека в условия естественной гипобарической гипоксии в его организме начинает разворачиваться целый каскад адаптационных реакций на молекулярном и ультраструктурном уровнях. При снижении напряжения кислорода в крови начинают активно синтезироваться сигнальные белки гипоксии – HIFs. HIFs, опосредованно действуя через белки VEGF, PGC-1 α и прочие, одновременно запускают несколько адаптационных механизмов: активируют эритропоэз и ангиогенез, ускоряют биосинтез митохондрий, повышают активность ферментов окисления глюкозы и жирных кислот и т. д. В связи с этим обнаруженные нами изменения

в эритроцитарных характеристиках крови спортсменов следует рассматривать как нормальные защитные реакции [5; 6].

При адаптации к условиям среднегорья было обнаружено два достоверных изменения: увеличение цветового показателя ($0,85 \pm 0,01$ и $0,87 \pm 0,01$ у.е.) и увеличение креатинкиназы ($185,86 \pm 20,98$ и $295,43 \pm 50,10$ ед/л). Достоверно большие значения цветового показателя в среднегорье по отношению к исходным данным на равнине говорят о более насыщенном цвете эритроцитов, что означает большее содержание гемоглобина в последних. Но отсутствие достоверных отличий в более валидных показателях МСН и МСНС опровергают выдвинутое предположение.

Несмотря на то, что в среднегорных условиях пик выработки эритропоэтина и выброса созревающих ретикулоцитов из депо приходится на первые 48–72 ч, отсутствие достоверных отличий при наличии положительной динамики в показателях RBC, HGB, HCT указывают на все еще протекающую, но незавершенную адаптацию к гипобарической гипоксии.

Достоверное увеличение креатинкиназы (КФК), о котором уже упоминалось, может говорить о потенциальном повреждении миоцитов или кардиомиоцитов: являясь цитозольным ферментом, участвующим в синтезе АТФ, креатинкиназа попадает в кровяное русло в результате разрушения мышечной структуры. Таким образом, повышение активности КФК в сыворотке крови указывает на развитие катаболических процессов в миоцитах или кардиомиоцитах. При отсутствии достоверных отличий в анализе специфического маркера ишемии миокарда (тропонин-I) мы можем предположить, что повышение КФК связано с ухудшившимся состоянием именно скелетных мышц.

Таблица 2

Гематологические показатели венозной крови пловцов высокого класса при тренировке в разных климато-географических условиях

№	Показатель	Климато-географические условия		
		Равнина (25.02.2024 г.)	Среднегорье (10.03.2024 г.)	Равнина (18.03.2024 г.)
1	RBC, млн/мкл	$4,95 \pm 0,11$	$5,09 \pm 0,13$	$5,19 \pm 0,07\#$
2	HGB, г/л	$144,86 \pm 3,00$	$147,86 \pm 3,73$	$152,14 \pm 2,65\#$
3	HCT, %	$42,86 \pm 0,45$	$44,90 \pm 0,99$	$45,47 \pm 0,85\#$
4	MCV, фл	$86,70 \pm 1,42$	$87,90 \pm 1,78$	$86,34 \pm 1,14$
5	MCH, пг	$28,07 \pm 0,23$	$28,91 \pm 0,43$	$28,86 \pm 0,40\#$
6	MCHC, г/л	$328,57 \pm 2,44$	$329,00 \pm 3,11$	$325,57 \pm 4,09$
7	Цветовой показатель, у.е.	$0,85 \pm 0,01$	$0,87 \pm 0,01^*$	$0,87 \pm 0,01\#$
8	WBC, тыс/мкл	$4,73 \pm 0,19$	$5,69 \pm 0,58$	$4,83 \pm 0,24$
9	LYM, тыс/мкл	$1,84 \pm 0,10$	$1,92 \pm 0,12$	$1,80 \pm 0,08$
10	NEU, тыс/мкл	$2,62 \pm 0,34$	$2,98 \pm 0,51$	$2,69 \pm 0,47$
11	EOS, тыс/мкл	$0,16 \pm 0,03$	$0,17 \pm 0,03$	$0,15 \pm 0,03$
12	BAS, тыс/мкл	$0,11 \pm 0,02$	$0,12 \pm 0,03$	$0,11 \pm 0,02$
13	MONO, тыс/мкл	$0,43 \pm 0,04$	$0,49 \pm 0,07$	$0,47 \pm 0,05$
14	ESR, тыс/мкл	$3,57 \pm 0,81$	$4,71 \pm 1,67$	$3,71 \pm 0,84$
15	Креатинкиназа, ед/л	$185,86 \pm 20,98$	$295,43 \pm 50,10^*$	$225,00 \pm 31,86$
16	Тропонин-I, пг/мл	$4,90 \pm 1,60$	$6,37 \pm 1,82$	$4,47 \pm 0,89$

Примечание: * – различия достоверны в сравнении с предыдущим исследованием, при $p \leq 0,05$; # – различия достоверны в сравнении с исходными равнинными показателями, при $p \leq 0,05$.

При сравнительном анализе исходных показателей гематологического гомеостаза на равнине и аналогичных показателей после 21 дня среднегорной подготовки был обнаружен ряд достоверных отличий. После пребывания на высоте 1650 м над уровнем моря у пловцов высокого класса достоверно возросло содержание эритроцитов ($4,95 \pm 0,11$ и $5,19 \pm 0,07$ млн/мкл), гемоглобина ($144,86 \pm 3,00$ и $152,14 \pm 2,65$ г/л), увеличились гематокрит ($42,86 \pm 0,45$ и $45,47 \pm 0,85$ %), среднее абсолютное содержание гемоглобина в эритроците ($28,07 \pm 0,23$ и $28,86 \pm 0,40$ пг), возрос цветовой показатель ($0,85 \pm 0,01$ и $0,87 \pm 0,01$ у.е.). Относительное увеличение данных эритроцитарных характеристик является нормальной реакцией на хроническое снижение pO_2 в крови спортсменов и связано с повышенной активностью эритропоэтина, активирующего дифференцировку колониобразующих единиц.

В лейкоцитарном звене гемограммы на протяжении всего периода наблюдений не было обнаружено ни одного достоверного отличия, хотя отметим волнообразную динамику иммунных показателей: абсолютное содержание лейкоцитов, лимфоцитов, нейтрофилов, эозинофилов, базофилов и моноцитов было несколько больше в период нахождения спортсменов в среднегорье (рис. 1 и 2).

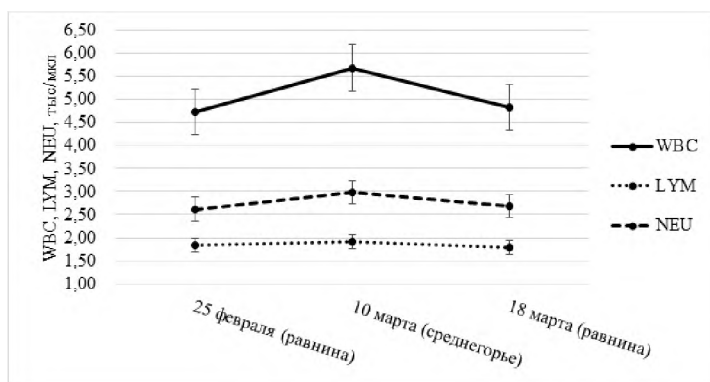


Рис. 1. Динамика лейкоцитов, лимфоцитов и нейтрофилов у пловцов высокого класса при тренировке в разных климато-географических условиях

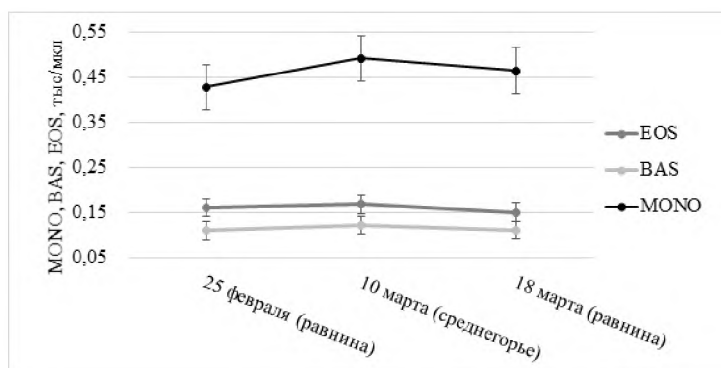


Рис. 2. Динамика моноцитов, эозинофилов и базофилов у пловцов высокого класса при тренировке в разных климато-географических условиях

Специфические биохимические маркеры креатинкиназа и тропонин-I имеют схожую динамику с иммунологическими характеристиками гемограммы. Возрастание лейкоцитарного звена и биохимических маркеров в период пребывания в среднегорье, а затем их снижение, указывают на напряжение функциональных систем в процессе тренировки и адаптации в условиях хронической гипобарической гипоксии. Тем не менее все показатели находились в пределах референсных значений.

Заключение. Проведенное исследование ряда гематологических и биохимических показателей венозной крови пловцов высокого класса показало, что стратегия адаптации к тренировкам в условиях среднегорья будет заключаться в увеличении эритроцитарных характеристик крови, незначительном повышении лейкоцитарных характеристик крови и специфических маркеров метаболизма (креатинкиназа и тропонин-I). Также, учитывая высокое значение креатинкиназы и тропонина-I в определении и прогнозировании состояния мышечной и сердечно-сосудистой функциональных систем, можно говорить о важности исследования гематологических маркеров в процессе тренировки в разных климато-географических условиях.

Результаты, полученные по итогам исследования, могут быть использованы для дифференцирования тренировочных нагрузок, корректировки тренировочного плана и оптимизации восстановительных процедур у пловцов высокого класса, находящихся в среднегорье.

Список источников

1. *Корягина Ю. В., Тер-Акопов Г. Н., Нотин С. В.* Современные технологии и эффекты горной и гипоксической подготовки спортсменов // Курортная медицина. – 2017. – № 3. – С. 170–174.
2. *Меерсон Ф. З., Пшеничникова М. Г.* Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам. – М.: Медицина, 1988. – 256 с.
3. *Платонов В. Н.* Основы подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Настольная книга тренера: в 2 т. – М.: Printleto, 2021. – Т. 1. – 592 с.
4. *Платонов В. Н.* Основы подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Настольная книга тренера: в 2 т. – М.: Printleto, 2021. – Т. 2. – 608 с.
5. *Рязанцев А. И., Гребенникова И. Н.* Применение метода интервальных гипоксических тренировок в оздоровительной физической культуре у мальчиков 14–15 лет // Наука и спорт: современные тенденции. – 2023. – Т. 11, № 3. – С. 30–38.
6. *Рязанцев А. И., Рязанцев И. В., Сафонова С. Н.* Влияние тренировки в условиях среднегорья на функциональное состояние, формулу и эритроцитарные характеристики периферической крови юношей-пловцов в возрасте 14–15 лет // Физическая культура. Спорт. Здоровье. – 2022. – № 1. – С. 78–87.
7. *Саркисов Д. С., Втюрин Б. В.* Электронно-микроскопический анализ повышения выносливости сердца. – М.: Медицина, 1969. – 172 с.
8. Структурные основы адаптации и компенсации нарушенных функций: руководство / под ред. Д. С. Саркисова. – М.: Медицина, 1987. – 445 с.
9. *Тер-Акопов Г. Н.* Влияние гипоксии среднегорья и кратковременной гипероксии на динамику функциональных показателей спортсменов, занимающихся подводным плаванием, в максимальном эргоспирометрическом тесте // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7, № 2(23). – С. 8.
10. Training Quantification and Periodization during Live High Train High at 2100 M in Elite Runners: An Observational Cohort Case Study / A. Sharma, P. Saunders, L. Garvican-Lewis // Journal of Sports Science and Medicine. – 2018. – Vol. 17, № 4. – P. 607–616.

References

1. Koryagina Yu. V., Ter-Akopov G. N., Nopin S. V. Modern technologies and effects of mountain and hypoxic training of athletes. *Spa Medicine*, 2017, no. 3, pp. 170–174. (In Russian)
2. Meerson F. Z., Pshenichnikova M. G. Adaptation to stressful situations and physical loads. Moscow: Medicine, 1988, 256 p. (In Russian)
3. Platonov V. N. Fundamentals of training athletes in Olympic sport. Desktop book of the coach: in 2 vol. Moscow: Printleto, 2021, vol. 1, 592 p. (In Russian)
4. Platonov V. N. Fundamentals of training athletes in Olympic sport. Desktop book of the coach: in 2 vol. Moscow: Printleto, 2021, vol. 2, 608 p. (In Russian)
5. Ryazantsev A. I., Grebennikova I. N. Application of the method of interval hypoxic training in recreational physical education in boys 14–15 years. *Science and Sport: modern trends*, 2023, vol. 11, no. 3, pp. 30–38. (In Russian)
6. Ryazantsev A. I., Ryazantsev I. V., Safonova S. N. Influence of training in the middle mountains on the functional state, formula and erythrocytic characteristics of peripheral blood of male swimmers aged 14–15 year. *Physical Culture. Sport. Health*, 2022, no. 1, pp. 78–87. (In Russian)
7. Sarkisov D. S., Vtyurin B. V. Electron-microscopic analysis of the increase of cardiac endurance. Moscow: Medicine, 1969, 172 p. (In Russian)
8. Structural bases of adaptation and compensation of disturbed functions: manual. Ed. by D. S. Sarkisov. Moscow: Medicine, 1987, 445 p. (In Russian)
9. Ter-Akopov G. N. Influence of mid-mountain hypoxia and short-term hyperoxia on the dynamics of functional indices of athletes engaged in scuba diving in the maximal ergospirometry test. *Modern issues of biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 2(23), 8 p. (In Russian)
10. Training Quantification and Periodization during Live High Train High at 2100 M in Elite Runners: An Observational Cohort Case Study. A. Sharma, P. Saunders, L. Garvican-Lewis. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2018, vol. 17, no. 4, pp. 607–616.

Информация об авторах

А. И. Рязанцев, магистрант факультета физической культуры, Новосибирский государственный педагогический университет; тренер-преподаватель, Спортивная школа олимпийского резерва «Центр водных видов спорта», Новосибирск, Россия, reza.a.i@mail.ru

С. Н. Сафонова, старший преподаватель кафедры физического воспитания, Сибирский государственный университет водного транспорта, Новосибирск, Россия, safonovasn0764@mail.ru

М. Р. Голомедов, студент 4 курса факультета физической культуры, Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Россия, mgolomedov@mail.ru

Information about the authors

A. I. Ryazantsev, Master's student of the Faculty of Physical Education, Novosibirsk State Pedagogical University; coach-teacher, Sports School of Olympic reserve “Aquatics Center”, Novosibirsk, Russia, reza.a.i@mail.ru

S. N. Safonova, Senior Lecturer of the Department of Physical Education, Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia, safonovasn0764@mail.ru

M. R. Golomedov, 4th year student of the Faculty of Physical Culture, Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia, mgolomedov@mail.ru

Поступила: 10.04.2024

Принята к публикации: 19.04.2024

Received: April 10, 2024

Accepted for publication: April 19, 2024