

Показатели гематологического гомеостаза в оценке функционального состояния спортсменов

Лариса Гунина¹, Ирина Рыбина², Лидия Котляренко³

¹Национальный университет физического воспитания и спорта Украины, Учебно-научный олимпийский институт Киев, Украина

²Белорусская Федерация биатлона, Комплексная научная группа по научно-методическому обеспечению, Минск, Республика Беларусь

³Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Учебно-научный институт физической культуры и спортивно-оздоровительных технологий, Киев, Украина

Hematological homeostasis indices in evaluating functional state of athletes

Larisa Gunina, Irina Rybina, Lidiya Kotlyarenko

ABSTRACT. *Objective.* The formation of an algorithm for estimating hematologic homeostasis indices based on the analysis of data of modern literature and generalization of own results of cohort studies of elite athletes to control and manage the training process.

Methods. Analysis and synthesis of data from scientific and methodological literature; laboratory and diagnostic, statistical.

Results. Based on the analysis of literature data and the results of practical work of the authors, a complex of those parameters of erythrocyte hematological homeostasis, which can be used in the practice of sports training for mediated through changes in blood oxygen-transport function, assessment of aerobic endurance in representatives of different sports events, informative control, and further training process management has been formed. *Conclusion.* The described complex of erythrocyte hematological homeostasis indices highlights almost all aspects of erythrocyte formation and their participation in the process of oxygen transfer, reflecting changes in aerobic work capacity, and can be used to assess the quality of life and current functional status of athletes.

Keywords: elite sport, hematologic homeostasis, erythrocyte chain, blood oxygen transport function, aerobic endurance, training process control.

Показники гематологічного гомеостазу в оцінюванні функціонального стану спортсменів

Лариса Гуніна, Ірина Рибіна, Лідія Котляренко

АНОТАЦІЯ. *Мета.* На основі аналізу даних сучасної літератури та узагальнення власних результатів когортних досліджень у спортсменів високої кваліфікації сформувати алгоритм оцінки показників гематологічного гомеостазу для контролю і управління тренувальним процесом.

Методи. Аналіз і синтез даних науково-методичної літератури; лабораторно-діагностичні, статистичні.

Результати. На основі аналізу даних літератури та результатів практичної роботи авторів сформований комплекс тих параметрів еритроцитарної ланки гематологічного гомеостазу, які можна використовувати в практиці спортивної підготовки для опосередкованої, через зміни кисень-транспортної функції крові, оцінки аеробної витривалості представників різних видів спорту, інформативного контролю і подальшого управління тренувальним процесом.

Висновок. Описаний комплекс показників еритроцитарної ланки гематологічного гомеостазу висвітлює практично всі сторони утворення еритроцитів та їх участі в процесі перенесення кисню, відображаючи зміни аеробної працездатності, а також може бути використаний для оцінки якості життя і поточного функціонального стану спортсменів.

Ключові слова: спорт вищих досягнень, гематологічний гомеостаз, еритроцитарна ланка, кисень-транспортна функція крові, аеробна витривалість, контроль тренувального процесу.

Постановка проблемы. Кровь – единственная жидкая система в организме и единственная система, омывающая другие органы и ткани и несущая информацию об их функциональном состоянии. Поэтому информация, получаемая при исследовании показателей крови, особенно важна и актуальна для понимания уровня функционального состояния спортсмена и его подготовленности, а также возможностей контроля и своевременной коррекции тренировочного процесса [2].

Система крови выполняет ряд важнейших функций в организме человека [5, 26, 34]:

- транспортную – перенос различных веществ: кислорода, углекислого газа, питательных веществ, гормонов, медиаторов, электролитов, ферментов и др.;
- дыхательную (разновидность транспортной функции) – перенос кислорода от легких к тканям, углекислого газа – от клеток к легким;
- трофическую (разновидность транспортной функции) – перенос основных питательных веществ от органов пищеварения к тканям.
- экскреторную (разновидность транспортной функции) – транспорт конечных продуктов обмена веществ (мочевины, мочевой кислоты и др.), избытка воды, органических и минеральных веществ к органам их выделения (почки, потовые железы, легкие, кишечник);
- терморегуляторную – перенос тепла от более нагретых органов к менее нагретым;
- защитную – осуществление неспецифического и специфического иммунитета, а также свертывание крови для предохранения от кровопотери при травмах;
- регуляторную (гуморальную) – доставка гормонов, пептидов, ионов и других физиологически активных веществ от мест их синтеза к клеткам-мишеням организма, что позволяет осуществлять регуляцию многих физиологических функций;
- гомеостатическую – поддержание постоянства внутренней среды организма (кислотно-основного равновесия, водно-электролитного баланса и др.).

Многие из перечисленных функций осуществляются исключительно с помощью собственно составляющих крови – ее клеток и плазмы, в которой форменные элементы находятся во взвешенном состоянии [8, 11, 13].

Согласно современным представлениям, система крови не только принимает непосредственное участие в энергетическом обеспечении напряженной мышечной деятельности, но и занимает одно из ведущих мест в комплексе физиологических регуляторных систем, формирующих неспецифические адаптационные реакции организма. Это обусловлено способностью системы крови быстро реагировать на различные воздействия изменениями своего морфологического состава с помощью рефлексорных и гуморальных механизмов регуляции кроветворения, наличия значительных клеточных резервов, а также разнообразных функций клеток крови [10, 17].

В настоящее время гематологические показатели введены в модуль биологического паспорта спортсме-

нов, что также обуславливает интерес к изучению их изменений под влиянием тренировочного и соревновательного процесса [36]. Ниже речь пойдет о тех показателях гематологического гомеостаза, информацию о которых рационально использовать тренеру в динамике контроля и управления тренировочным процессом.

Для получения объективных и высокоинформативных данных относительно оценки текущего функционального состояния спортсменов, а также контроля и последующего управления тренировочным процессом, необходимо принимать во внимание общие принципы оценки показателей гематологического гомеостаза спортсменов. Важными характеристиками трактовки результатов гематологического анализа спортсмена являются следующие факторы:

- вид спорта и соревновательная дисциплина;
- спортивная квалификация;
- этап подготовки;
- индивидуальные характеристики спортсмена.

Цель исследования – на основе анализа данных современной литературы и обобщения собственных результатов когортных исследований у спортсменов высокой квалификации сформировать алгоритм оценки показателей гематологического гомеостаза для контроля и управления тренировочным процессом.

Методы исследования: анализ и систематизация данных современной научно-методической литературы по изучаемому вопросу, проведение исследований и систематизация данных когортного гематологического анализа с помощью автоматических анализаторов «ERMA-210» (Япония) и «System XT-2000i» (Япония) у 3821 высококвалифицированного представителя разных видов спорта – членов национальных сборных команд Украины и Республики Беларусь. Статистическую обработку результатов практических исследований в виде вычисления средней величины и ее ошибки проводили с помощью прикладного пакета компьютерных программ Microsoft Office Excel 2013 и лицензированной компьютерной программы «GraphPadInStat» (США).

Результаты анализа данных литературы и собственных исследований авторов. На современном этапе развития автоматизированного анализа крови с использованием высокотехнологичных гематологических анализаторов стало возможным получать значительный объем информации о состоянии системы кроветворения и ее изменениях под влиянием напряженной мышечной деятельности. Использование автоматических анализаторов значительно расширило спектр определяемых гематологических тестов (табл. 1).

Мы приводим и англоязычную, и русскоязычную аббревиатуру каждого показателя, поскольку тренер и сам спортсмен, часто принимающие активное участие в процессе трактовки полученных данных, не имеют полного представления о том, какие возможности открывает в современной лабораторной диагностике и контроле тренировочного процесса использование гематологи-

ТАБЛИЦА 1 – Характеристика гематологических показателей, определяемых с использованием автоматических анализаторов

Показатель	Общепринятая английская аббревиатура	Единица измерения	
		(англ.)	(русс.)
Концентрация гемоглобина	HGB (Hb)	g · l ⁻¹	г · л ⁻¹
Гематокрит	HCT (Ht)	%	усл. ед., %
<i>Эритроцитарное звено</i>			
Количество эритроцитов	RBC	10 ¹² · l ⁻¹	10 ¹² · л ⁻¹
Средний размер эритроцитов	MCV	fl	фл
Среднее содержание гемоглобина в эритроците	MCH	pg	пг
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците	MCHC	g · dl ⁻¹ , g · l ⁻¹	г · дл ⁻¹ , г · л ⁻¹
Характеристика эритроцитометрии (стандартное отклонение)	RDW-SD	fl	фл
Характеристика эритроцитометрии (коэффициент вариации, анизоцитоз)	RDW-CV	%	%
<i>Тромбоцитарное звено</i>			
Количество тромбоцитов	PLT	10 ⁹ · l ⁻¹	10 ⁹ · л ⁻¹
Разброс тромбоцитов	PDW	fl	фл
Средний размер тромбоцитов	MPV	fl	фл
Доля больших тромбоцитов	P-LCR	%	%
Тромбокрит	PCT	%	%
<i>Лейкоцитарное звено</i>			
Количество лейкоцитов	WBC	10 ⁹ · l ⁻¹ (%)	10 ⁹ · л ⁻¹ (%)
Количество нейтрофилов	NEUT	10 ⁹ · l ⁻¹ (%)	10 ⁹ · л ⁻¹ (%)
Количество лимфоцитов	LYMPH	10 ⁹ · l ⁻¹ (%)	10 ⁹ · л ⁻¹ (%)
Количество моноцитов	MONO	10 ⁹ · l ⁻¹ (%)	10 ⁹ · л ⁻¹ (%)
Количество эозинофилов	EO	10 ⁹ · l ⁻¹ (%)	10 ⁹ · л ⁻¹ (%)
Количество базофилов	BASO	10 ⁹ · l ⁻¹ (%)	10 ⁹ · л ⁻¹ (%)
<i>Ретикулоцитарная фракция</i>			
Количество ретикулоцитов	RET	10 ¹² · l ⁻¹ (%)	10 ¹² · л ⁻¹ (%)
Фракция незрелых ретикулоцитов	IRF	%	%
Процентное содержание зрелых ретикулоцитов	LFR	%	%
Процентное содержание ретикулоцитов средней степени зрелости	MFR	%	%
Процентное содержание молодых ретикулоцитов	HFR	%	%

ческих параметров как маркеров эффективности подготовки (и оценки состояния здоровья и качества жизни) спортсменов.

Для проведения гематологического анализа, что очень важно, может использоваться и капиллярная, и венозная кровь. Важно потому, что весьма часто после углубленного обследования в условиях стационарной лаборатории необходимы контрольные замеры в динамике тренировочного сбора на выезде, где применяются только портативные приборы, которые в своей работе используют кровь капиллярную. Поэтому необходимо при первичном обследовании в условиях стационарной лаборатории провести изучение гематологических показателей в капиллярной и венозной крови для последующей сравнительной оценки гематологических маркеров в условиях тренировочного сбора.

Для правильной трактовки полученных результатов гематологического анализа специалисту в области ла-

бораторной диагностики в спорте необходимо учитывать ряд основополагающих принципов, без которых адекватная трактовка данных, характеризующих функциональное состояние спортсмена, а часто – и его функциональную подготовленность, например, аэробную работоспособность, невозможна. Такими принципами являются следующие:

- необходимость дифференцировать кумулятивные, текущие и срочные изменения показателей гематологического гомеостаза;
- учет при изучении особенностей состава крови результатов динамических наблюдений, а не случайных разовых значений показателей у данного спортсмена;
- проведение сравнительного анализа полученных данных обосновано только при условии использования однотипной аппаратуры;
- гематологические показатели информативны для прогнозирования физической работоспособности толь-

ко при индивидуальном динамическом обследовании каждого спортсмена;

- учет изменения не отдельных показателей, а результатов всего комплекса полученных данных гематологического гомеостаза;

- необходимость учитывать вид спорта и специализацию спортсмена.

Одной из самых сложных для интерпретации и в то же время наиболее информативных для спортивной лабораторной диагностики является система эритрона, представляющая собой комплекс взаимосвязанных органов образования эритроцитов (эритропоэза), периферической крови, органов разрушения эритроцитов и нейрогуморальных механизмов регуляции этих процессов. Ретикулоцитарная фракция эритроцитарного (красного) звена крови является в спортивной лабораторной диагностике источником информации о резервах аэробной работоспособности, а также используется как система биомаркеров эффективности подготовки в гипоксических условиях (среднегорье и высокогорье, искусственная гипоксия – домики, палатки, маски и др.) [2].

Исследование лейкоцитарного звена крови позволяет получить большое количество ценной информации о направленности и интенсивности тренировочных нагрузок, напряженности первой линии системы иммунитета [28, 32], предоставляемым возможностям оценки и прогнозирования функционального ответа организма спортсмена на физическую нагрузку [16]. Исследование тромбоцитарного звена дает возможность получить опосредованную информацию о скорости кровотока [27].

При трактовке полученных данных гематологического анализа у спортсменов, нужно помнить, что определяющее влияние на формирование значений этих показателей оказывают специфика вида спорта и преимущественный механизм энергообеспечения мышечной деятельности. Сравнение полученных у каждого отдельного спортсмена данных, как, впрочем, и в части биохимического, иммунологического и других исследований, следует проводить не с показателями здорового нетренированного человека («норма»), а с референтными значениями для спортсменов. Ниже приведены данные о референтных показателях гематологического гомеостаза, сформированных на основе более 6500 динамических измерений, проведенных в течение 2007–2017 гг. у членов национальных сборных команд Украины (табл. 2).

1. Оценка изменений содержания гемоглобина и величины гематокрита при физических нагрузках. С учетом роли эритроцитарного звена в обеспечении общей и специальной работоспособности спортсменов, остановимся на некоторых показателях этого звена детальнее. Эритроцитарное звено, или же звено красной крови, включает не только такие параметры, как само содержание эритроцитов и гемоглобина, но и эритроцитарные характеристики (син. эритроцитарные индексы), включающие показатели

ТАБЛИЦА 2 – Референтные значения гематологических показателей у членов национальных сборных команд Украины

Показатель	Условное сокращение	Референтное значение
Лейкоциты, $\times 10^9 \cdot \text{л}^{-1}$	WBC	4,0–6,6
Эозинофилы, %	EO	0,1–5,61
Базофилы, %	B	0–0,32
Палочкоядерные, %	GR	1,47–5,13
Сегментоядерные, %		44,31–60,42
Лимфоциты, %	LY	26,73–44,73
Моноциты, %	MO	2,04–8,73
Эритроциты, $\times 10^{12} \cdot \text{л}^{-1}$	RBC	3,86–5,03
Гемоглобин, $\text{г} \cdot \text{л}^{-1}$	Hb, HGB	124,8–160,1
Гематокрит, %	Ht, HCT	38–50
Средний объем эритроцитов, фл	MCV	79,2–88,6
Среднее абсолютное содержание гемоглобина в эритроците, пг	MCH	24,3–32,2
Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, $\text{г} \cdot \text{л}^{-1}$	MCHC	30,6–38,7
Анизоцитоз, %	RDW	до 14,2
Тромбоциты, $\times 10^9 \cdot \text{л}^{-1}$	PLT	220–360

среднего объема эритроцитов (MCV), среднего абсолютного (MCH) и относительного содержания гемоглобина (MCHC) в эритроците, степени изменения эритроцитов по объему и др.

Важнейшая роль в энергообеспечении физической нагрузки принадлежит аэробным процессам, в которых интенсивность мышечной деятельности существенным образом зависит от состояния кислород-транспортной функции крови, обеспечиваемой в значительной степени состоянием ее эритроцитарного звена. Содержание гемоглобина в крови играет важнейшую роль в обеспечении аэробных возможностей организма, поэтому в специальной литературе уделяется большое внимание дискуссиям об оптимальном уровне этого показателя у спортсменов [6, 30]. Следует отметить, что для квалифицированных спортсменов, в целом, и представителей циклических видов спорта с аэробным механизмом энергообеспечения, в частности, значения концентрации гемоглобина чаще представлены в диапазоне (в среднем) 145–160 $\text{г} \cdot \text{л}^{-1}$ у мужчин, 135–150 $\text{г} \cdot \text{л}^{-1}$ – у женщин.

Особенно важно поддержание надлежащего уровня гемоглобина у представителей видов спорта с преимущественно аэробным механизмом энергообеспечения мышечной деятельности. Данные о содержании гемоглобина у представителей циклических видов спорта, полученные в динамике длительного периода (более 10 лет) наблюдений за высококвалифицированными спортсменами, членами национальных сборных команд Республики Беларусь и Украины, представлены в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3 – Содержание гемоглобина в крови ($\text{г}\cdot\text{л}^{-1}$) в состоянии относительного мышечного покоя у представителей циклических видов спорта

Вид спорта	Мужчины		Женщины	
	n	$\bar{X} \pm SD$	n	$\bar{X} \pm SD$
Биатлон	102	155,1 \pm 7,6	361	142,8 \pm 7,1
Велосипедный спорт	130	153,1 \pm 8,3	94	145,7 \pm 8,5
Гребля академическая	1067	155,4 \pm 9,3	233	140,4 \pm 8,1
Гребля на байдарках и каноэ	1842	154,1 \pm 10,2	244	139,1 \pm 8,0
Лыжные гонки	134	160,0 \pm 7,1	112	141,6 \pm 9,7
Плавание	546	159,4 \pm 9,3	431	140,8 \pm 9,4

Для представителей циклических дисциплин содержание гемоглобина является важным фактором, который может существенным образом лимитировать уровень функциональных возможностей. Если сравнивать показатели концентрации гемоглобина у спортсменов высокой квалификации с общепопуляционными диапазонами этого показателя, то можно отметить следующие тенденции. Показатели концентрации гемоглобина находятся в пределах верхней границы общепопуляционных диапазонов. У представителей мужского пола установленные значения гемоглобина и гематокрита достоверно выше по сравнению с женщинами-спортсменками для всех исследуемых циклических дисциплин. Некоторые наблюдаемые различия между представителями разных видов спорта ассоциированы с особенностями подготовки, а также многолетним формированием адаптационного потенциала функции транспорта кислорода под влиянием специфических для данной физической деятельности нагрузок.

Снижение концентрации гемоглобина под влиянием тренировочных нагрузок ниже физиологических значений, определенных в зависимости от вида спорта, может быть использовано в качестве адекватного индикатора определения низкой переносимости тренировочных нагрузок. Комплекс изменений, характеризующийся падением концентрации гемоглобина и повышением показателя гематокрита, является сигналом о необходимости коррекции плана тренировочных нагрузок.

Факторами, дополнительно влияющими на уровень гемоглобина у спортсменов, являются:

1. *Половая принадлежность.* У женщин концентрация гемоглобина ниже, чем у мужчин. Это связано с тем, что мужские половые гормоны – андрогены – оказывают стимулирующее влияние на образование эритроцитов (эритропоэз), в то время женские половые гормоны – эстрогены – тормозят этот процесс.

2. *Вид, интенсивность и продолжительность тренировочных нагрузок.* Важными причинами снижения концентрации гемоглобина вследствие воздействия тренировочных нагрузок является усиление гемолиза

эритроцитов и формирование дефицита железа под влиянием интенсивных физических упражнений. В исследовании E. Diaz и соавт. [6] отмечается снижение концентрации гемоглобина и гематокрита у обследованных спортсменов от 3 до 8 % в течение соревновательного сезона. Гематологический мониторинг участия профессиональных велосипедистов, участвующих в гонке показал, что среднее снижение гематокрита и концентрации Hb в течение соревновательного сезона составляет 4,3 % и 1,3 $\text{г}\cdot\text{л}^{-1}$ соответственно [25]. Во время гонки Тур де Франс среднее снижение содержания гемоглобина у спортсменов составило 11,5 %, а индивидуальные вариации этого показателя находились в пределах от 7,0 до 20,6 %. Снижение уровня гемоглобина под влиянием тренировочных нагрузок многими авторами рассматривается в качестве важного индикатора плохой переносимости тренировочных нагрузок [20]. При этом важно дифференцировать так называемую псевдоанемию, или дилуционную анемию, при которой снижение концентрации гемоглобина обусловлено увеличением объема плазмы и снижением гематокрита, а не нарушением процессов гемоглобинообразования [31].

3. *Индивидуальные особенности.* Индивидуальные особенности гормонального фона организма спортсмена оказывают влияние на интенсивность эритропоэза, например, на скорость синтеза тканевого гормона эритропоэтина [22, 24]. Наличие аномалий в мембране эритроцитов может приводить к появлению эритроцитов различной формы, например, сферической или серповидной [9]. Это усиливает их гемолиз, поскольку такая форма эритроцитов приводит к тому, что они быстрее разрушаются, поскольку не могут преодолевать мелкие капилляры. К снижению содержания гемоглобина может приводить наличие в организме хронических очагов кровопотери, например, частые носовые или десневые кровотечения, обильные менструальные кровотечения и др.

4. *Физиологическое состояние.* У женщин периодические повторяющиеся кровопотери в результате гиперменореи в конечном итоге могут быть причиной снижения содержания гемоглобина.

5. *Особенности рациона.* Снижение скорости гемоглобинообразования у спортсменов может наблюдаться вследствие недостаточного поступления с пищей железа, витаминов группы B – B₁₂, B₆, B₉ (фолиевой кислоты) – и др. микронутриентов. Имеются данные, что содержание гемоглобина и эритроцитов незначительно снижается после еды – в среднем, на 10 % [35].

6. *Высота над уровнем моря.* При попадании человека в условия среднегорья и высокогорья (гипоксия окружающего воздуха) происходит активация эритропоэза путем запуска механизма секреции эритропоэтина в условиях гипоксии, что приводит к росту содержания гемоглобина. В этой ситуации в индуцированных снижением парциального давления кислорода в окружающем воздухе плюрипотентных стволовых клетках

наблюдается повышенная экспрессия генов, имеющих отношение к регуляции эритропоэза, ангиогенеза, сердечно-сосудистой и стероидно-гормональной функции, которые, по-видимому, объясняют увеличение ответа красного (эритро-поэтического) звена крови [3].

7. *Нарушение водного баланса.* При недостаточном поступлении жидкости в организм (неадекватная регидратация в динамике тренировочных нагрузок), диарее, рвоте и др. могут наблюдаться явления дегидратации, что приводит в конечном итоге к гемоконцентрации и соответствующему возрастанию концентрации гемоглобина и величины гематокрита.

8. *Суточные биоритмы.* Уровень гемоглобина и эритроцитов в период с 17.00 до 7.00 утра ниже на 10 % по сравнению с дневными часами [35].

При трактовке показателей содержания уровня гемоглобина у спортсменов следует учитывать, что снижение его концентрации на фоне относительно неизменного уровня эритроцитов может быть обусловлено двумя такими факторами, как:

1) наличием достоверной взаимосвязи среднего содержания гемоглобина в эритроцитах с концентрацией гемоглобина в крови, что, скорее всего, свидетельствует о дефиците в организме пластических материалов (белка и/или железа);

2) существование взаимосвязи среднего содержания гемоглобина в эритроцитах с концентрацией эритроцитов, что может означать превышение скорости эритропоэза над скоростью гемоглобинообразования.

Следует помнить, что согласно вышеприведенным принципам оценки показателей гомеостаза, трактовка концентрации гемоглобина не должна проводиться изолированно, в отрыве от оценки других показателей гематологического гомеостаза, а также от условий и направленности тренировочного процесса (табл. 4). Трактовка концентрации гемоглобина у спортсменов зависит от величины гематокрита, отображающего степень дегидратации/регидратации, количества эритроцитов и содержания гемоглобина непосредственно в этих клетках крови, среднего объема эритроцитов.

Не менее доступным для тренерского контроля тренировочного процесса показателем является *величина гематокрита*. Гематокрит выражают в процентах к общему объему крови (%), или в литрах на литр (л·л⁻¹) (обозначается десятичной дробью с точностью до со-

ответствующей доле форменных элементов в одном литре крови), например, 450 мл клеток в 1 л крови = 0,45 л·л⁻¹ = 45 % [1]. Референтные значения гематокрита у здоровых взрослых составляет 39–48 % у мужчин и 34–44 % – у женщин. Что касается референтных значений гематокрита для спортсменов, то это величина весьма лабильная, зависящая от насыщенности микроциклов и интенсивности ежедневных тренировочных нагрузок, режима гидратации/дегидратации и др., поэтому в среднем в спорте часто ориентируются на нормальные, минус 2–3 %, значения для здоровых взрослых людей [23]. Известно, что к повышению гематокрита у спортсменов приводят не только различные ситуации, свойственные собственно тренировочному процессу, но и развитие синдромов микроповреждения мышц и отсроченной мышечной болезненности [29], что обязательно нужно учитывать при трактовке изменений данного показателя.

У высококвалифицированных спортсменов наблюдаются три основных типа динамики содержания гемоглобина и значений гематокрита под влиянием физических нагрузок [16, 17].

Первый тип наблюдается при выполнении больших объемов тренировочных нагрузок аэробной направленности. Он характеризуется средними значениями показателей гематокрита, высоким уровнем гемоглобина в крови и абсолютного содержания внутриэритроцитарного гемоглобина (МСН).

Второй тип характерен для систематических высокоинтенсивных нагрузок. При этом выявляется уменьшение гематокрита, сниженное содержание гемоглобина в крови и МСН.

Третий тип отмечается при ухудшении физической работоспособности при напряженной мышечной деятельности. При этом увеличивается гематокрит и снижается МСН. Комплекс изменений, характеризующийся падением концентрации гемоглобина в эритроцитах и повышением показателя гематокрита, является сигналом о необходимости срочной коррекции плана подготовки со снижением объема/интенсивности нагрузок.

В аспекте оценки гематологического гомеостаза тренерам важно обращать внимание не только на показатель содержания гемоглобина, обычно обозначаемый как Hb или HGB, но и на такой чрезвычайно важ-

ТАБЛИЦА 4 – Основные причины, приводящие к изменению концентрации гемоглобина у спортсменов

Повышение концентрации гемоглобина	Снижение концентрации гемоглобина
Дегидратация организма	Гипергидратация
Интенсивная, но адекватная адаптационным возможностям спортсмена, физическая нагрузка, направленная на развитие аэробных возможностей	Чрезмерная физическая нагрузка, не соответствующая адаптационным возможностям спортсмена
Длительная среднегорная подготовка	Спортивные анемии различного генеза
Использование стимуляторов эритропоэза	Курение (образование функционально неактивного HbCO)



РИСУНОК 1 – Распределение эритроцитов по объему

ный маркер как абсолютное содержание гемоглобина в эритроците. Этот показатель не зависит от степени дегидратации/регидратации организма спортсмена, а также не подвержен влиянию изменений среднего объема эритроцитов (MCV) [18].

Абсолютное содержание гемоглобина в эритроците дает возможность не только косвенно судить об аэробном потенциале спортсмена, но и дает ответ на вопрос о наличии/отсутствии у атлета спортивной анемии различного происхождения (недостаточность поступления и/или всасывания железа, недостаток витаминов группы В, изменения в структуре мембраны эритроцитов и их объеме и др.) [19, 20]. Установление наличия такого патологического состояния дает повод для проведения дальнейших уточняющих исследований и фармакологической коррекции выявленных нарушений.

Таким образом, исходя из тезиса, что в практике оценки текущего функционального состояния спортсмена, адекватности построения и контроля тренировочного процесса не всегда рядом с тренером присутствует специалист по лабораторной диагностике, весьма обоснованным является применение комплекса гематологических показателей, которые помогут тренеру решить тактические задачи процесса подготовки спортсменов в определенном микро- или мезоцикле.

2. Оценка изменений эритроцитарных характеристик при физических нагрузках. Эритроцитарные характеристики, или эритроцитарные индексы, определяют размер эритроцита и содержание в нем гемоглобина и включают в себя следующие основные показатели:

- средний объем эритроцита (MCV);
- среднее абсолютное содержание гемоглобина в эритроците (MCH);
- среднюю концентрацию гемоглобина в эритроцитах (MCHC);
- распределение эритроцитов по ширине (RDW) и другие.

Определение вышеуказанных показателей является неотъемлемой частью общего анализа крови и отдельно на автоматических гематологических анализаторах не производится.

Средний объем эритроцита (MCV – от англ. *Mean Corpuscular Volume*) измеряется в кубических микрометрах (мкм³), или фемтолитрах (1 фл, или 1 fl, = 1 мкм³, или 1·10⁻¹⁵ л⁻¹). MCV вычисляется путем деления суммы клеточных объемов, измеренных с использованием электрического импульса, на число эритроцитов.

По объему, как и по диаметру, эритроциты подразделяются на три отдельных подтипа (рис. 1); при этом эритроциты нормального размера (диаметра), вне условий гипоксических нагрузок, должны составлять не менее 85–88 % в популяции общего числа красных клеток крови.

Для нормоцитов MCV составляет 80–100 фл, для микроцитов – менее 80 фл, для макроцитов – более 100 фл. Эти характеристики объема красных клеток являются очень важными в лабораторной диагностике эритроцитарного звена крови спортсменов, поскольку косвенно отражает скорость движения эритроцитов по микрососудам и кислородтранспортную функцию крови.

Объем эритроцитов является основной детерминантой кардиореспираторной (аэробной) подготовленности у здоровых людей, занимающихся спортом. Об этом свидетельствуют данные систематического анализа, проведенного группой профессора Центра интегративной физиологии человека Института физиологии Университета Цюриха (Швейцария) D. Montero по результатам тридцати исследований, опубликованных в базах данных MEDLINE, Scopus и Web of Science на протяжении двух лет [23].

Референтные значения MCV в популяции составляют 80–100 фл. Приспособительной реакцией тренировок считается снижение значения показателя MCV до 75–78 фл [15]. Необходимо отметить, что увеличение эффективного среднего объема эритроцитов – до 90 фл и более – у спортсменов на фоне нагрузок, направленных преимущественно на развитие выносливости, как правило, предшествует снижению концентрации гемоглобина [20, 21].

Исходя из этого, традиционно считается, что показатель среднего объема эритроцитов может быть использован как наиболее ранний признак передозировки соответствующего вида работы, т.е. этот факт является основанием для коррекции тренировочного процесса. В подготовительном и соревновательном периодах тренировочного цикла при хорошем функциональном состоянии организма и адекватной адаптации к физической нагрузке, на фоне относительно стабильного уровня гемоглобина и небольшого повышения концентрации эритроцитов, обычно отмечается снижение MCV и, соответственно, гематокрита. Напротив, при ухудшении функционального состояния организма величина этих параметров возрастает [16, 17, 22].

Однако имеются данные, что для повышения эффективности тренировок на выносливость может быть использована искусственная гиперволемия, которая проявляется одинаковым повышением объема плазмы и общего объема эритроцитов. В этом случае гематокрит в основном остается неизменным в течение длительного периода (недель/месяцев) в динамике тренировочного процесса. У элитных спортсменов в видах спорта, связанных с развитием выносливости, могут отмечаться по-

казатели среднего объема эритроцитов на 40 % больше значения MCV, чем в контроле (здоровые нетренированные лица), и средний объем эритроцитов может увеличиться на 10 % после нескольких месяцев регулярных нагрузок у здоровых людей. Такие адаптации являются основным фактором, приводящим к сопутствующим изменениям максимального поглощения кислорода [23]. Эти исследования были проведены для подтверждения или опровержения факта, полученного ранее M. G. Coles и M. J. Luetkemeier [4] в рандомизированном плацебо-контролируемом исследовании влияния гиперволемии на выносливость и работоспособность спортсменов. Авторами были проанализированы данные обследований 14 велосипедистов-мужчин, потреблявших при велоэргометрической нагрузке со скоростью 70 % максимальной рабочей нагрузки, изотонический или гипотонический напиток (или плацебо). После орального употребления раствора соды (164 экв Na⁺) наблюдалось значительное улучшение (приблизительно на 7,8 %; $p < 0,05$) эффективности испытаний по времени. Не обнаружено значительных различий для частоты сердечных сокращений, температуры тела, скорости воспринимаемой нагрузки или общего количества пота испытуемых ($p > 0,05$). Авторы при этом резюмировали, что прием внутрь раствора соды способствовал увеличению объема плазмы перед проведением нагрузочного теста, поддерживал должные объемы плазмы в течение 15 и 30 мин и приводил к улучшению времени испытаний на выносливость в большей степени, чем плацебо [4].

Повышению среднего объема эритроцитов предшествует увеличение объема плазмы после нескольких сеансов искусственной гиперволемии, что, в свою очередь, временно снижает гематокрит. Теория «критерия» предполагает, что датчики O₂, расположенные внутри юкстамедуллярного аппарата, регулируют гематокрит посредством модуляции продукции почечного эритропоэтина в соответствии с изменениями давления кислорода в тканях, зависящими от насыщения тканей кислородом. Следовательно, начальное снижение гематокрита можно рассматривать как основной механизм, способствующий увеличению среднего объема с помощью искусственной гиперволемии. Кроме того, после одного упражнения на выносливость наблюдается временное увеличение содержания гормонов регуляции объема циркулирующей крови – ангиотензина II и вазопрессина, стимулирующих выработку почечного эритропоэтина [18]. Катехоламины и кортизол, гормоны стресса [6], концентрация которых резко повышена при выполнении упражнений на выносливость, могут способствовать высвобождению эритроцитов из костного мозга, что, возможно, способствует гиперволемически-индуцированному эритропоэзу. Эти и другие эндокринные эффекты могут быть усилены гиперплазией гемопоэтического костного мозга, наблюдаемой у элитных атлетов, тренирующих качество выносливости [23].

MCV является важным показателем в дифференциальной диагностике анемий у спортсменов и информативен для оценки функционального состояния эритроцитов. Изменения MCV также могут дать полезную информацию о состоянии водно-электролитного баланса в организме, в частности, увеличение MCV свидетельствует о гиповолевическом, снижение – о гиперволевическом характере нарушений водно-электролитного баланса.

С учетом значения MCV можно также провести первичную дифференциальную диагностику спортивных анемий на следующие виды.

1. *Микроцитарные* (преобладают эритроциты маленького размера). Чаще всего причиной микроцитарной анемии является дефицит железа. Он может возникать из-за длительных кровопотерь, нарушения усвоения железа, недостаточного употребления мясных продуктов, а также из-за некоторых нарушений «сборки» гемоглобина, например при болезнях крови или хронических инфекционных процессах.

2. *Нормоцитарные* (преобладают эритроциты нормального размера). Такой вид анемии может развиваться при угнетении работы костного мозга (апластическая анемия), недавнем кровотечении, хронических заболеваниях печени и почек.

3. *Макроцитарные* – (преобладают эритроциты крупного размера). Чаще всего такая картина анемии наблюдается при дефиците витамина B₁₂ и / или фолиевой кислоты. MCV может повышаться и при нормальном уровне гемоглобина – из-за злоупотребления алкоголем, при курении или снижении функции щитовидной железы.

В обобщенном виде диагностические параметры анемий с применением эритроцитарных индексов можно представить в виде рисунка 2.

Среднее абсолютное содержание гемоглобина в эритроците (MCH – от англ. *Mean Corpuscular Hemoglobin*) – среднее абсолютное содержание гемоглобина в одном эритроците. MCH измеряется в пикограммах (пг). Расчет осуществляется по формуле:

$$MCH = \frac{Hb}{RDW},$$

где Hb – содержание гемоглобина (г · л⁻¹), RDW – количество эритроцитов ($\times 10^{12}$).

MCH характеризует среднее содержание гемоглобина в отдельном эритроците в абсолютных единицах, на него не влияют внешние факторы, такие, как объем эритроцита, его диаметр и форма. MCH – более объективный параметр, чем устаревший цветовой показатель, который не отражает интенсивности синтеза гемоглобина и его содержание в эритроците.

Референтные значения MCH в общечеловеческой популяции составляют 24–34 пг. Значения содержания внутриэритроцитарного гемоглобина у спортсменов, по нашим данным, в среднем составляют $29,4 \pm 1,2$ пг. При

Эритроцитарные индексы: трактовка результатов (Clesla B., 2011, адаптировано Колесник А.Н., 2015)

Параметр	Референтный интервал	Клиническое значение
Средний объем эритроцита (Mean cell volume, MCV)	80–100 фл*	< 80 фл – микроцитоз (дефициты железа) ≥ 100 фл – макроцитоз (дефицит фолатов, витамина В ₁₂)
Средний уровень гемоглобина в отдельном эритроците (Mean cell hemoglobin, MCH)	27–32 пг**	< 27 пг – гипохромия > 27 пг ≤ 32 пг – нормохромия > 32 пг – гиперхромия
Средняя концентрация гемоглобина в объеме эритроцитов (Mean cell hemoglobin, conderation, MCH)	32–36 г/дл	< 29 г/дл – тяжелая гипохромия < 29 г/дл > 30 г/дл – гипохромия средней тяжести > 30 г/дл < 32 г/дл – легкая гипохромия > 36 г/дл – индикатор гемолиза
Цветной показатель	0,85–1,2	< 0,85 – гипохромия > 0,85 ≤ 1,2 – нормохромия ≥ 1,2 – гиперхромия
Примечание: *1 фемтолитр = 1 • 10 ⁻¹⁵ л; ** 1 пикограмм = 1 • 10 ⁻¹² г.		

РИСУНОК 2 – Трактовка эритроцитарных индексов при поставке диагноза анемии (цит. по: [18])

этом у представителей циклических видов спорта с преимущественно аэробным обеспечением мышечного сокращения (развитие выносливости) эта величина может быть несколько выше – $31,4 \pm 0,9$ пг; у представителей силовых видов спорта (тяжелая атлетика) несколько ниже – $27,8 \pm 1,1$ пг, как и у представителей сложно-координационных видов спорта – $26,3 \pm 0,6$ пг. Неконсолидированные показатели по ряду видов спорта представлены в таблице 5.

Параметр МСН является расчетным, поэтому к возникновению ложно-завышенных результатов приводят все факторы, влияющие на увеличение значений гемоглобина и снижение количества эритроцитов. Ложнозаниженные результаты МСН получаются вследствие ошибок, связанных с неправильным определением числа эритроцитов (завышения их количества) и занижением концентрации гемоглобина.

Средняя концентрация гемоглобина в эритроците (МСНС – от англ. *Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration*) отражает концентрацию или насыщение гемоглобином эритроцита и характеризует соотноше-

ние содержания гемоглобина к объему клетки и вычисляется по формуле:

$$\text{МСНС} = \frac{\text{Hb}}{\text{Ht} \times 100},$$

где Hb – гемоглобин ($\text{г} \cdot \text{л}^{-1}$ или $\text{г} \cdot \text{дл}^{-1}$), Ht – гематокрит (%).

Различия между показателями МСН и МСНС заключаются в том, что МСН отражает абсолютную массу гемоглобина в одном эритроците, а МСНС – его концентрацию и зависит от объема эритроцита. МСНС является довольно чувствительным индикатором нарушения процессов гемоглобинообразования.

Референтные значения МСНС в общечеловеческой популяции и у спортсменов составляют в среднем $32\text{--}38 \text{ г} \cdot \text{дл}^{-1}$, или $320\text{--}380 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$. Для анализа этого эритроцитарного индекса у спортсменов удобнее использовать показатели, выраженные в $\text{г} \cdot \text{дл}^{-1}$, поскольку это коррелирует со значениями МСН.

В связи с тем что параметр МСНС является расчетным, то к ложно-завышенным результатам приводят все

ТАБЛИЦА 5 – Некоторые показатели гематологического гомеостаза у высококвалифицированных представителей разных видов спорта – членов национальных сборных команд Украины

Показатель	Биатлон и лыжные гонки (n = 83)	Тяжелая атлетика (n = 57)	Гимнастика художественная, прыжки в воду (n = 53)	Бег на средние дистанции – 1500 и 3000 м (n = 44)
WBC, $\times 10^9 \cdot \text{л}^{-1}$	$6,81 \pm 0,34$	$5,02 \pm 0,64$	$4,22 \pm 0,45$	$5,21 \pm 0,38$
RBC, $\times 10^{12} \cdot \text{л}^{-1}$	$5,44 \pm 0,65$	$4,68 \pm 0,36$	$3,86 \pm 0,44$	$5,03 \pm 0,49$
Hb, $\text{г} \cdot \text{л}^{-1}$	$162,1 \pm 10,2$	$143,2 \pm 12,4$	$124,8 \pm 11,6$	$153,5 \pm 12,9$
Ht, %	$38,6 \pm 3,1$	$49,0 \pm 3,4$	$46,3 \pm 2,1$	$44,2 \pm 1,8$
MCV, фл	$84,5 \pm 2,3$	$88,6 \pm 2,1$	$76,5 \pm 3,1$	$78,9 \pm 3,6$
MCH, пг	$35,4 \pm 1,9$	$32,6 \pm 2,4$	$26,3 \pm 11,6$	$34,8 \pm 2,9$

факторы, влияющие на увеличение значений содержания гемоглобина и снижение значений гематокрита. Ложно-заниженные результаты MCHC могут быть вследствие некорректного определения MCV (завышения его значения) и занижения концентрации гемоглобина. Увеличение содержания липидов в крови, насыщение крови гепарином также ведут к ложно-завышенным результатам значения MCHC.

Ширина распределения эритроцитов (RDW – от англ. *Red Cell Distribution Width*) соответствует микроскопически определяемому анизоцитозу эритроцитов и является показателем гетерогенности («неодинаковости») эритроцитов по размеру. В норме большинство эритроцитов имеют относительно одинаковые размеры и форму. В результате некоторых дисфункций в процессе эритропоэза может наблюдаться увеличение количества клеток другого размера. В этом случае происходит изменение распределения эритроцитов по объему, которое и характеризует показатель RDW. Ширина распределения эритроцитов, с точки зрения современных исследователей, может быть ориентиром, сигнализирующим о том, что тонкие вариации эритроцитов указывают у спортсменов на наличие патологических состояний неустановленной этиологии. Применение современных методов измерения и анализа к изучению определенных характеристик эритроцитов может дать более специфический и чувствительный маркер дисфункции кардиореспираторной системы [14], применения запрещенных субстанций, стимулирующих эритропоэз (эритропоэтины), чувствительный биомаркер эффективности/неэффективности гипоксической, в том числе, среднегорной, подготовки [37]. Наблюдения за акклиматизацией на большой высоте у спортсменов выявляют несколько протеасомных, дыхательных и гематологических ответов на низкое напряжение кислорода. Из них RDW, как свидетельствуют данные мета-анализа и систематического обзора, по-видимому, имеет наибольшую стойкость [37]. RDW вычисляется путем анализа гистограммы распределения эритроцитов по объему, получаемых в современных гематологических анализаторах.

Выделяют два типа данного показателя – RDW-SD и RDW-CV:

1. *RDW-SD* характеризует стандартное отклонение размера эритроцитов и отражает разность объемов между наибольшим и наименьшим из обнаруженных эритроцитов в крови человека; выражается в фемтолитрах.

2. *RDW-CV* отражает распределение эритроцитов по объему, выражается в процентах и вычисляется как ко-

эффициент вариации объема эритроцитов по формуле:

$$RDW-CV = \frac{SD}{MCV} 100,$$

где SD – стандартное среднее квадратичное отклонение объема эритроцитов от среднего значения показателя; MCV – средний объем эритроцитов (фл); 100 – коэффициент для приведения в %.

Референтные значения RDW-CV в популяции, т. е. процентное содержание отличающихся по размеру от должного значения среднего объема эритроцитов, составляет 11,5–14,5 %. Повышение показателя анизоцитоза предполагает, что в крови появляются эритроциты различного размера (нормоциты, микроциты или макроциты). RDW-SD является более информативным показателем при наличии небольшой популяции макроцитов или микроцитов. Увеличение этого показателя также может наблюдаться при увеличении количества ретикулоцитов, поскольку они имеют больший размер, чем зрелые ретикулоциты. RDW-CV менее информативен при наличии небольшой популяции эритроцитов другого размера или ретикулоцитов, но лучше отражает общие изменения в размере эритроцитов при макроцитарной или микроцитарной анемии.

Поскольку появление в популяции эритроцитов спортсменов значительного количества клеток с увеличенным объемом связано прежде всего с изменением структурно-функционального состояния клеточной мембраны эритроцитов под влиянием сформировавшегося окислительного стресса, то этот феномен косвенно указывает на активацию процессов ПОЛ при одновременном торможении антиоксидантных процессов [12, 33] и служит основанием, после проведения уточняющих исследований, для назначения фармакологических коррекционных средств.

Заключение. Таким образом, обоснованная трактовка изменений показателей звена красной крови может оказать тренеру существенную помощь в проведении своевременной оценки текущего состояния здоровья спортсмена, уровня его физической и функциональной, в частности, аэробной, подготовленности, а также дает в руки практический инструмент для управления тренировочным процессом при решении как стратегических, так и тактических задач в развивающихся мезоциклах подготовки. Более того, рациональный подход к оценке такого показателя, как средний объем эритроцитов, дает тренеру возможность для самооценки при построении тренировочных занятий и планировании нагрузок в микроциклах.

Литература

1. Antonyan WG, Benyumovich MS, Bolotina AY. Large Russian-English medical dictionary. Moscow, Russia, 2000.704 s.
2. Banfi G. Reticulocytes in sports medicine. *Sports Med.* 2008;38(3):187–211. doi: 10.2165/00007256-200838030-00002.
3. Bermudez D, Azad P, Figueroa-Mujica R, Vizcardo-Galindo G, Corante N, et al. Increased hypoxic proliferative response and gene expression in erythroid progenitor cells of Andean highlanders with chronic mountain sickness. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2020;318(1): R49–R56. doi: 10.1152/ajpregu.00250.2019.

4. Coles MG, Luetkemeier MJ. Sodium-facilitated hypervolemia, endurance performance, and thermoregulation. *Int J Sports Med.* 2005;26(3): 182–7.
5. Collier BS. Blood at 70: Its Roots in the History of Hematology and Its Birth. *Blood.* 2015;126(24): 2548–2560. doi: 10.1182/blood-2015-09-659581.
6. Diaz E, Ruiz F, Hoyos I, et al. Cell damage, antioxidant status, and cortisol levels related to nutrition in ski mountaineering during a two-day race. *J Sports Sci Med.* 2010;9(2): 338–46.
7. Diaz V, Lombardi G, Ricci C, Jacobs RA, Montalvo Z, et al. Reticulocyte and haemoglobin profiles in elite triathletes over four consecutive seasons. *Int J Lab Hematol.* 2011;33(6): 638–44. doi: 10.1111/j.1751-553X.2011.01348.x.
8. Dolgov BB, Lugovskaya SA, Morozova VT, Pochtar' ME. *Laboratory hematology.* Moscow, Unimed Press, 2002. 120 s.
9. Fuller G. Shape of Training: a view from the specialties. *Clin Med (Lond).* 2014;14(4): 357–360. doi: 10.7861/clinmedicine.14-4-357.
10. Grishchenko ON. New approaches to assessing the blood picture in sport shifts. *Sport: medycyna y zdorove.* 2001;(2): 46–51.
11. Gunina LM, Tkachova DL. Modern laboratory criteria in the system of medical and biological control of the athlete: a necessary and sufficient list. *Sportyvna medycyna.* 2012;(1): 110–117.
12. Gunina LM. Oxidative stress and adaptation: metabolic aspects of the influence of physical activity. *Nauka v olymпыiskom sporte.* 2013;(4): 19–25.
13. Guseva SA, Goncharov YaP. Anemia. Kiev, Logos, 2004; pp. 370–71.
14. Li N, Zhou H, Tang Q. Red Blood Cell Distribution Width: A Novel Predictive Indicator for Cardiovascular and Cerebrovascular Diseases. *Dis Markers.* 2017;2017: 7089493. doi: 10.1155/2017/7089493.
15. Mairbäurl H. Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells. *Front Physiol.* 2013;4: 332. doi: 10.3389/fphys.2013.00332.
16. Makarova GA. The diagnostic potential of the blood picture in athletes. *Moscow, Sport,* 2020. 172 s.
17. Makarova GA, Kholovko YuA. *Laboratory indicators in the practice of a sports doctor: a reference guide.* Moscow, Soviet Sport, 2006. 199 p.
18. Makovetskaia M. Anemia and dialysis: the possibilities of drug correction of anemic syndrome in patients with chronic renal failure. *Zdorov'ja Ukrainy.* 2016;395(22). Electronic resource. [Access code]: https://health-ua.com/wp-content/uploads/2016/12/ilovepdf_46-47.pdf.
19. Martin J. Red blood cell physiology. *Biomed Instrum Technol.* 1995;29(2): 150–161. PMID: 7773325.
20. Mercer KW, Densmore JJ. Hematologic disorders in the athlete. *Clinics in Sports Medicine.* 2005;24(3): 599–621. doi: 10.1016/j.csm.2005.03.006.
21. Miranda-Vilela AL, Akimoto AK, Alves PC, Pereira LC, Klautau-Guimarães MN, Grisolia CK. Dietary carotenoid-rich oil supplementation improves exercise-induced anisocytosis in runners: influences of haptoglobin, MnSOD (Val9Ala), CAT (21A/T) and GPX1 (Pro198Leu) gene polymorphisms in dilutional pseudoanemia (sports anemia). *Genet Mol Biol.* 2010;33(2): 359–367. doi: 10.1590/S1415-47572010005000022.
22. Montero D, Breenfeldt-Andersen A, Oberholzer L, Haider T, Goetze JP, et al. Erythropoiesis with endurance training: dynamics and mechanisms. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2017;312(6): R894–R902. doi: 10.1152/ajpregu.00012.2017.
23. Montero D, Lundby C. Regulation of Red Blood Cell Volume with Exercise Training. *Compr Physiol.* 2018;9(1): 149–164. doi: 10.1002/cphy.c180004.
24. Montero D, Rauber S, Goetze JP, Lundby C. Reduction in central venous pressure enhances erythropoietin synthesis: role of volume-regulating hormones. *Acta Physiol (Oxf).* 2016;218(2): 89–97. doi: 10.1111/apha.12708.
25. Mørkeberg JS, Belhage B, Damsgaard R. Changes in blood values in elite cyclist. *Int J Sports Med.* 2009;30(2): 130–138. doi: 10.1055/s-2008-1038842.
26. Murray JA, Fell WJ. Hemostasis in Exercise and the Athlete. *Semin Thromb Hemost.* 2018;44(8): 707–9. doi: 10.1055/s-0038-1675169.
27. Pasalic L, Pennings GJ, Connor D, Campbell H, Kritharides L, Chen VM. Flow Cytometry Protocols for Assessment of Platelet Function in Whole Blood. *Methods Mol Biol.* 2017;1646: 369–89. doi: 10.1007/978-1-4939-7196-1_28.
28. Peake JM, Neubauer O, Walsh NP, Simpson RJ. Recovery of the immune system after exercise. *J Appl Physiol (1985).* 2017;122(5):1077–87. doi: 10.1152/jappphysiol.00622.2016.
29. 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. doi: 10.1186/s12967-020-02315-x.
30. Rybina IL, Shirkovets EA. Algorithm for assessing adaptive changes in the body of athletes using data from clinical and laboratory control. *Vestnyk sportyvnoi nauky.* 2017;(3): 36–40.
31. Sharma AP, Saunders PU, Garvican-Lewis LA, Périard JD, Clark B, et al. Training Quantification and Periodization during Live High Train High at 2100 M in Elite Runners: An Observational Cohort Case Study. *J Sports Sci Med.* 2018;17(4): 607–616. PMID: 30479529.
32. Song QH, Xu RM, Zhang QH, Shen GQ, Ma M, Zhao XP, Guo YH, Wang Y. Glutamine Supplementation and Immune Function During Heavy Load Training. *Int J Clin Pharmacol Ther.* 2015;53(5): 372–6. doi: 10.5414/CP202227.
33. Temiz A, Başkurt OK, Pekçetin C, Kandemir F, Güre A. Leukocyte activation, oxidant stress and red blood cell properties after acute, exhausting exercise in rats. *Clin Hemorheol Microcirc.* 2000;22(4): 253–259. PMID: 11081462.
34. Tomschi F, Bloch W, Grau M. Impact of Type of Sport, Gender and Age on Red Blood Cell Deformability of Elite Athletes. *Int J Sports Med.* 2018;39(1): 12–20. doi: 10.1055/s-0043-119879.
35. Tytsa NU. *Clinical Laboratory Test Guide.* Moscow, UNIMED-press, 2003. 960 s.
36. Verne AR. The Athlete Biological Passport: an integral element of innovative strategies in anti-doping. *Br J Sports Med.* 2014;48(10): 817–819. doi: 10.1136/bjsports-2014-093560.
37. Ycas JW. Toward a Blood-Borne Biomarker of Chronic Hypoxemia: Red Cell Distribution Width and Respiratory Disease. *Adv Clin Chem.* 2017;82: 105–7. doi: 10.1016/bs.acc.2017.06.002.

Автор для корреспонденции:

Гунина Лариса Михайловна – д-р биол. наук, Учебно-научный олимпийский институт, Национальный университет физического воспитания и спорта Украины, Украина, 03150, Киев, ул. Физкультуры, 1; <http://orcid.org/0000-0002-6207-1117>
gunina.sport@gmail.com

Corresponding author:

Gunina Larisa – Dr. Sci in Biology, Olympic Education and Research Institute, Natinal University of Ukraine on Physical Education and Sports; Ukraine, 03150, Kyiv, 1. Fizcultury Str.; <http://orcid.org/0000-0002-6207-1117>
gunina.sport@gmail.com

Поступила 14.07.2020