

СОСТОЯНИЕ ОБМЕНА ЖЕЛЕЗА ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

И.П. Зайцева

к.б.н, доцент, Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова
E-mail: irisha-zip@yandex.ru

А.А. Тиньков

к.м.н., инженер-исследователь, Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова; мл. науч. сотрудник, Российский университет дружбы народов (Москва); Оренбургский государственный медицинский университет
E-mail: tinkov.a.a@gmail.com

В.Ю. Детков

к.м.н., заслуж. врач РФ, гл. врач, ГБУЗ «Детская городская больница № 19 им. К.А. Раухфуса» (Санкт-Петербург)
E-mail: db19@zdrav.spb.ru

А.В. Скальный

д.м.н., профессор, зав. лабораторией, Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова; зав. кафедрой, Российский университет дружбы народов (Москва); Институт биоэлементологии, Оренбургский государственный университет
E-mail: skalny3@microelements.ru

Представлен обзор мировой литературы, посвященной изучению состояния обмена железа в организме спортсменов на основании оценки рутинных показателей. Проведена оценка обеспеченности организма спортсменов железом в существующих работах двумя способами: 1) определение концентрации ферритина и, реже, других показателей, таких как насыщение трансферрина и сывороточное железо, и их сравнение с референтными (или пограничными) величинами; 2) сравнительный анализ маркеров гомеостаза железа у спортсменов и контрольной группы. Установлено, что большинство спортсменов характеризуется истощением запасов железа, в то же время в ряде работ продемонстрировано, что распространенность железодефицита у спортсменов существенно не отличается от фонового уровня в популяции. Рассмотрена взаимосвязь маркеров обмена железа в организме с физиологическими параметрами спортсменов. Рекомендовано сочетание нескольких способов мониторинга обмена железа, включая как прямое определение железа в индикаторных биосубстратах, так и оценку концентрации железосодержащих белков.

Ключевые слова: спорт, железодефицит, ферритин, трансферрин, анемия.

Железо является эссенциальным микроэлементом, играющим важную роль в реализации многих клеточных функций. Железо входит в состав гемопротеинов и железо-серных кластеров, что обусловлено химическими свойствами данного металла, и, в частности, возможностью выступать в качестве донора и акцептора электронов в окислительно-восстановительных реакциях [1].

Интенсивная физическая нагрузка оказывает существенное влияние на обмен железа в организме, сопровождаясь увеличением потребности в поступлении данного металла с пищей [2], что может являться следствием интенсификации выведения железа из организма [3] на фоне недостаточного поступления с пищей [4]. Поэтому спортсмены и лица, подверженные интенсивным физическим нагрузкам, характеризуются высоким риском развития нарушений обмена железа вплоть до развития анемии [5], которая отмечается у 22–65% спортсменов подросткового возраста [6].

В то же время результаты существующих исследований достаточно противоречивы, они варьи-

руют от выраженного железодефицита до отдельных указаний на избыток железа.

Ц е л ь р а б о т ы – обзор мировой литературы, посвященной изучению состояния обмена железа в организме спортсменов и лиц, подверженных интенсивной физической нагрузке, на основании оценки рутинных показателей.

Настоящий обзор не является всеобъемлющим в связи с огромным количеством опубликованных работ, посвященных изучению обмена одного из важнейших микроэлементов в физиологии человека. Ставилась задача проанализировать как классические работы, так и исследования современных авторов в связи с вариабельностью критериев и подходов к оценке обмена железа. Отметим, что в настоящей работе не рассматривалось влияние периодической физической нагрузки на обеспеченность организма железом.

Оценка обеспеченности организма спортсменов железом в существующих работах проводилась двумя способами: 1) определение концентрации ферритина и, реже, других показателей, таких

как насыщение трансферрина и сывороточное железо, и их сравнение с нормальными (референтными) величинами; 2) сравнение показателей гомеостаза железа у обследуемых спортсменов и контрольной группы.

ОЦЕНКА ОБМЕНА ЖЕЛЕЗА НА ОСНОВАНИИ УРОВНЯ ФЕРРИТИНА

Ферритин является внутриклеточным железосвязывающим белком, выполняющим депонирующую и защитную функции путем ограничения доступности каталитически активного железа, а также ряд функций, не относящихся к метаболизму железа [7]. Использование данного маркера обосновано и при оценке обмена железа у спортсменов, однако результаты должны быть оценены с учетом вида деятельности, режима тренировок, сезона и предыдущих результатов [8]. Поэтому имеющиеся работы используют различные границы нормы (cut-off values) уровня ферритина при оценке наличия железодефицита (табл. 1). В частности, установлено что у 31 и 57% спортсменов высокого класса мужского и женского пола из 191 обследуемого имелись признаки железодефицита, о чем свидетельствовал уровень сывороточного ферритина менее 35 мкг/л, в то время как низкая концентрация гемоглобина и гематокрита была практически одинаковой у лиц мужского и женского пола [9]. Проведенное в Израиле обследование профессиональных баскетболистов позволило выявить наличие железодефицита (уровень ферритина < 20 мкг/л) у 22% обследуемых в общей когорте, а также у 15 и 35% мужчин и женщин соответственно. Распространенность железодефицитной анемии в общей группе, а также среди обследуемых мужского и женского пола составила 7, 3 и 14% соответственно, о чем свидетельствовали наличие анемии в общем анализе крови, а также уровень насыщения трансферрина < 16% [10]. Результаты другого исследования продемонстрировали, что частота железодефицита у взрослых лиц, подверженных аэробным тренировкам, может варьировать в зависимости от выбранного критерия. Так, принимая уровень ферритина ниже 16 мкг/л в качестве диагностического, железодефицит обнаружен у 29 и 4% обследованных мужчин и женщин соответственно, при этом определение железодефицита без анемии с использованием индекса трансферриновый рецептор – ферритин выявило 36 и 6% случаев соответственно [11].

Обследование 92 участников Зимних Олимпийских игр показало, что у 7 и 8% мужчин и женщин наблюдалась анемия, в то время как железодефицит был выявлен у 16% спортсменов и 39% спортсменок (ферритин < 30 нг/мл). Встречаемость недостаточной обеспеченности организма железом была наименьшей у хоккеистов, наибольшей – у лыжниц, составляя 50% всех обследуемых (из которых 7% характеризовались наличием анемии). Аналогичные показатели наличия железодефицита были у женщин, занимающихся конькобежным спортом. Среди хоккеистов низкие значения сывороточной концентрации ферритина отмечались лишь у 20% [12].

Обследование 45 спортсменок высокого класса, играющих в баскетбольной, футбольной и гандбольной лигах, показало низкий уровень ферритина у 33% обследуемых, причем наименьшие показатели были выявлены у гандболисток. Превышение нормального уровня ферритина отмечено у 12,5% обследуемых [13].

Железодефицитное состояние (ферритин < 12 мкг/л) было выявлено у 46,7% девушек, занимающихся плаванием в начале соревновательного сезона, в то время как у юношей не было зарегистрировано железодефицита. Содержание железа в рационе девушек составляло лишь 43% от рекомендованной дневной нормы потребления [14]. Субоптимальные показатели обмена железа (ферритин < 20 мкг/л) выявлены у 28% девушек, профессионально занимающихся балетом. При этом практически у трети из них был выявлен железодефицит (ферритин < 12 мкг/л, Hb > 120 г/л), в то время как железодефицитная анемия отмечалась у одной из 13 обследуемых спортсменок [15]. Среди студенток, занимающихся ритмической гимнастикой, распространенность железодефицита (ферритин < 12 мкг/л) составила 48,3%, хотя достоверных различий в потреблении железа по сравнению с девушками с нормальным уровнем ферритина выявлено не было [16].

Детальное обследование 45 бегунов выявило низкий уровень ферритина (< 35 мкг/л) у 23 атлетов. Большинство спортсменов характеризовалось повышенной интенсивностью абсорбции радиоактивного изотопа железа (⁵⁹Fe) и сниженным содержанием железа в печени. Более того, в условиях тренировки экскреция изотопа с калом возрастала более чем в 3-4 раза, в то время как выведение с потом и мочой было малозначимым [17].

Таблица 1. Характеристика железодефицита у обследованных спортсменов на основании оценки уровня ферритина

Контингент	n	Частота, %	Ферритин *	Ссылка
Молодые спортсмены	191	–	35 мкг/л	[9]
	96 ♂	31		
	97 ♀	57		
Баскетболисты	103	22	20 мкг/л	[10]
	66 ♂	15		
	37 ♀	35		
Олимпийцы	92	–	30 нг/мл	[12]
	56 ♂	16		
	36 ♀	39		
Спортсменки	45 ♀	33	30 нг/мл	[13]
Студенты пловцы	30	–	12 мкг/л	[14]
	15 ♂	–		
	15 ♀	46,7		
Гребцы	165 ♀	30	20 мкг/л	[57]
Бегуны	11 ♀	~30	12 мкг/л	[34]
Лица с высокой активностью	121	–	16 мкг/л	[11]
	49 ♂	4		
	72 ♀	29		
Бегуны	45 ♂	49	35 мкг/л	[17]
Спортсменки	70 ♀	24	15 мкг/л	[58]
		14	12 мкг/л	
Балерины	47 ♀	28	20 мкг/л	[15]
Гимнастки	60 ♀	48	12 мкг/л	[16]

П р и м е ч а н и е : * – критический уровень ферритина, снижение относительно которого было расценено как железодефицит.

Перспективное обследование, проведенное в Австралийском институте спорта, выявило клинически выраженные нарушения обмена железа у 4,6% спортсменов женского пола, в то время как у 51,1% отмечались отклонения лабораторных показателей, из которых менее чем треть характеризовалась снижением уровня ферритина в сыворотке ниже 30 мкг/л. Нарушения лабораторных показателей обмена железа у спортсменов мужского пола были единичны [18].

Среди военнослужащих по призыву в вооруженных силах Республики Беларусь, служащих не менее трех месяцев и характеризующихся значительными физическими нагрузками, распространенность предлатентного и латентного железодефицита, а также железодефицитной анемии составила 19,2, 44,2, а также 3,8% соответственно. Данное наблюдение было сделано на фоне адекватного поступления железа в организм, что свидетельствует о повышенной потребности военнослужащих в железе [19].

Наряду с указаниями на взаимосвязь интенсивной физической нагрузки и железодефицита, ряд де-

тальных исследований продемонстрировал обратный эффект. В частности, изучение обмена железа у 170 участников марафона в Цюрихе позволило выявить разнонаправленные нарушения гомеостаза данного металла. Железодефицит у мужчин практически не наблюдался (1,6%), в то время как его распространенность у женщин составила 28%. Напротив, избыток железа (ферритин > 200 мкг/л) отмечался у 15% мужчин, но лишь у 4,7% женщин. Таким образом, авторы предполагают, что мужской пол, а не возраст, является предиктором избытка железа у спортсменов [20]. Данные наблюдения согласуются с более ранними результатами международного наблюдения, проведенного с 1999–2002 г. В частности, у 45% велосипедистов был выявлен избыток железа со значениями ферритина > 300 мкг/л, а то время как у четверти обследуемых концентрация ферритина превышала 500 мкг/л, что было связано с избыточным использованием железосодержащих препаратов [21]. Подобная ситуация наблюдалась при обследовании профессиональных бегунов из Эфиопии. Распространенность в данной

группе анемии (Hb < 120 г/л) и железодефицита (ферритин < 12 мкг/л) составляла лишь 3 и 2% соответственно, в то время как избыток железа (ферритин > 200 мкг/л) был обнаружен у 11% обследуемых. При этом показатели обмена железа характеризовались достоверной зависимостью от дистанции [22].

ОЦЕНКА ОБМЕНА ЖЕЛЕЗА ПО ПРИНЦИПУ «СЛУЧАЙ–КОНТРОЛЬ»

При сравнении обеспеченности организма спортсменом железом с контрольными показателями также выявлены некоторые противоречия (табл. 2).

Таблица 2. Различия показателей обмена железа в организме спортсменов и контрольных субъектов

Контингент	n	Параметр	От контроля	Ссылка
Гимнасты	23	Гемоглобин	↓	[23]
	11 ♂	Насыщение трансферрина	↓	
	12 ♀	Ферритин	↓	
		Гемоглобин	↓	
Активные женщины	28	Насыщение трансферрина	↓	[24]
		Ферритин	↓	
		Рецептор к трансферрину	↑	
		Железодефицит	↑	
Женщины-бегуны	111	Гемоглобин	↓	[25]
		Ферритин	↓	
		ОЖСС	↓	
		Эритроциты	↓	
		Гемоглобин эритроцитов	↑	
		Гемоглобин	↔	
		Железо	↔	
		Гематокрит	↔	
Спортсменки-любители	70	Насыщение трансферрина	↑	[26]
		Рецептор к трансферрину	↑	
		Анемия	↔	
		Железодефицит	↔	
Спортсменки	57	Ферритин	↓	[37]
		Насыщение трансферрина	↓	
		Рецептор к трансферрину	↑	
Спортсмены	26	Гемоглобин	↔	[38]
		Анемия	↔	
		Железодефицит	↔	
Спортсменки	126	Железо	↔	[38]
Спортсменки	126	Железодефицит	↓	[26]
Самбисты		Железодефицит	↓	[27]
		Ферритин	↓	
		Трансферрин	↔	
		Лактоферрин	↓	
		Ферритин	↓	
Баскетболистки		Трансферрин	↔	
		Лактоферрин	↓	
Лыжники-гонщики	17	Трансферрин	↔	[39]
Активные студенты	21	Железо	↔	[40]
	37	Железо	↔	[41]
Велосипедисты	5	Железо	↑	[28]
Гимнастки	43	Железо	↑	[29]
		Ферритин	↑	
		Трансферрин	↑	
		Гемоглобин	↑	
		Гематокрит	↑	

Примечание: ↑ – достоверное превышение контрольных значений; ↓ – достоверное снижение относительно контроля; ↔ – отсутствие достоверных отличий по сравнению с контрольным уровнем.

Обследование гимнастов показало, что концентрация гемоглобина ниже 14 г/дл (для мужчин) и 13 г/дл (для женщин) у спортсменок отмечалась в 45 и 25% случаев по сравнению с 25 и 15% в соответствующих контрольных группах. Также низкий процент насыщения трансферрина у гимнастов (18%) и гимнасток (25%) характеризовался большей частотой по сравнению с 6 и 8% в соответствующих контрольных группах. При этом у женщин обеих групп низкие значения ферритина отмечались у 30% обследуемых (Constantini et al., 2000).

Установлено, что женщины с высокой физической активностью характеризуются более низкими показателями сывороточного ферритина и содержания гемоглобина в эритроцитах по сравнению с контрольными значениями. В то же время концентрация растворимого рецептора к трансферрину характеризовалась повышением. При этом, согласно концентрации ферритина, железодефицит отмечался у 21% высокоактивных женщин и 18% женщин контрольной группы. При отсутствии достоверных погрупповых различий в потреблении гемового железа общее содержание железа в рационе женщин с высокой физической активностью было выше контрольных значений [24]. Женщины, занимающиеся бегом на любительском уровне, также характеризовались снижением концентрации сывороточного ферритина, общей железосвязывающей активностью (ОЖСС), и количества эритроцитов, но при этом имели большее содержание гемоглобина в эритроцитах по сравнению с контрольными значениями. Данные различия наблюдались на фоне одинаковых значений концентрации гемоглобина, сывороточного железа, гематокрита, а также процента насыщения трансферрина.

Наряду со снижением средней концентрации ферритина, в группе женщин, занимающихся бегом, была выявлена большая распространённость железодефицита (ферритин < 20 нг/мл) по сравнению с контролем. Результаты регрессионного анализа выявили достоверную взаимосвязь между уровнем ферритина и интенсивностью физической нагрузки, а также потреблением кофе или чая [25]. Обследование 126 женщин, занимающихся спортом, на выносливость, проведенное в Польше, выявило меньшую распространённость железодефицита у спортсменок по сравнению с контрольными лицами (26 и 50%, соответственно). При этом авторы делают вывод о том, что высокая распространённость железодефицита у контрольных лиц мо-

жет являться следствием недостаточного содержания железа в рационе, в то время как случаи железодефицита у девушек, занимающихся спортом, могут быть связаны с менструальными потерями [26].

При изучении влияния психофизических нагрузок на концентрацию сывороточных железосодержащих белков установлено, что уровень ферритина у самбистов – мастеров и кандидатов в мастера спорта, достоверно не отличался от контрольных значений студентов, не занимающихся спортом, и при этом был на 38 и 31% ниже соответствующих показателей у не учащихся и не тренирующихся мужчин соответствующего возраста. Среди девушек, наименьший уровень ферритина сыворотки был выявлен у баскетболисток – он снизился на 32% относительно этого показателя у девушек, не занимающихся спортом и не обучающихся в вузе, но достоверно не отличался от соответствующего уровня у студенток. При этом достоверных погрупповых различий в сывороточной концентрации трансферрина как среди юношей, так и среди девушек выявлено не было. Также следует отметить снижение уровня лактоферрина в сыворотке крови девушек и юношей, характеризующихся наибольшими нагрузками (самбисты – мастера спорта и баскетболистки) [27]. Обследование профессиональных велосипедистов, тренирующихся на протяжении не менее шести лет, позволило выявить 26%-ное увеличение концентрации железа в цельной крови по сравнению с контрольными значениями [28]. При обследовании девушек, занимающихся художественной гимнастикой, выявлено, что спортсменки характеризуются более высокими концентрациями уровня железа, ферритина и трансферрина в сыворотке, а также повышенными показателями уровня гемоглобина, гематокрита, размерных и качественных характеристик эритроцитов [29].

Многочисленными исследованиями установлено влияние различных типов и интенсивности физической нагрузки на показатели обмена железа. Результаты детального исследования Milic с соавторами (2011) показали, что тип энергообеспечения оказывает существенное влияние на показатели обмена железа. Выявлено увеличение концентрации сывороточного железа (+9%) и насыщения трансферрина (+12%) у лиц с анаэробным типом энергообеспечения при нагрузках по сравнению со смешанным типом. Мужчины с аэробным типом нагрузки характеризовались большей ОЖСС по сравнению с анаэробным (+4%).

IRON METABOLISM STATUS IN ATHLETES

© Authors, 2017

I.P. Zaitseva

Ph.D. (Biol.), Associate Professor, P.G. Demidov Yaroslavl State University
E-mail: irisha-zip@yandex.ru

A.A. Tinkov

Ph.D. (Med.), Engineer-Researcher, P.G. Demidov Yaroslavl State University;
Junior Research Scientist, RUDN University (Moscow); Orenburg State University
E-mail: tinkov.a.a@gmail.com

V.Yu. Detkov

Ph.D. (Med.), Honored Doctor of Russia, Chief Doctor, Children's City Hospital № 19 named after K.A. Rauhufusa (Saint-Petersburg)
E-mail: dg19@zdrav.spb.ru

A.V. Skalny

Dr.Sc. (Med.), Professor, Head of Laboratory, P.G. Demidov Yaroslavl State University;
Head of Department, RUDN University (Moscow); Institute of Bioelementology; Orenburg State University
E-mail: skalny3@microelements.ru

The intense physical activity significantly impacts iron metabolism of the organism. Consequently, the athletes and persons exposed to high physical load are characterized by a high rate of the iron metabolism disturbances. Therefore, the objective of the present study is the review of the world scholarly published articles devoted to the investigation of the iron metabolism in the athletes based of routine markers assessment. Assessment of iron status in athletes in the articles was performed using two approaches: 1) analysis of ferritin concentrations and, less frequently other markers like transferrin saturation and serum iron, and their comparison to the reference (or cut-off) values; 2) comparative analysis of iron metabolism markers in comparison with the control values. Using various cut-offs for serum ferritin it has been revealed that the majority of athletes are characterized by low iron stores. At the same time, a number of studies demonstrated that the incidence of iron deficiency in athletes is not different from the background levels in the population. A comparative analysis of iron status in the athletes and control values provided more heterogenous data. In particular, despite the fact that the majority of studies has indicated the presence of iron deficiency, a significant number of studies demonstrated the absence of significant group difference as compared to the controls, and, moreover, higher values of iron status as compared to the control group. Review of studies dealing with iron status assessment using chemical analysis of hair, saliva and other substrates also revealed multidirectional trends. The association of iron status with physiological parameters of athletes is discussed. Despite being rather contradictory, the existing data indicate the tendency to iron deficiency in the organism of athletes. At least partially, the observed contradictions may be mediated by the use of various markers and substrates. Therefore, the combined analysis of the different methods for iron status monitoring, including a chemical analysis of the iron in various substrates and assessment of iron-binding proteins concentration is recommended. At the same time, the decision on the necessity of iron supplementation should be based on the results of personalized diagnosis, taking into account the possibility of iron overload and subsequent toxicity.

Key words: sport, iron deficiency, ferritin, transferrin, anemia.

REFERENCES

1. Oberleas D., Harland B., Skalny A. Biological role of macro- and trace elements in man and animals. SPb: Nauka, 2008. 544 p.
2. Latunde-Dada G.O. Iron metabolism in athletes—achieving a gold standard. Eur. J. Haematol. 2013. Vol. 90, N. 1. P. 10-15.
3. Virovec A.A. About increased loss of macro- and trace elements in sport and the necessity of its compensation with biologically active supplements. Vopr. Pitania. 2009. Vol. 78. P. 2.
4. Suedekum N.A., Dimeff R.J. Iron and the athlete. Curr. Sports Med. Rep. 2005. Vol. 4 N. 4. P. 199-202.
5. Shaskey D.J., Green G.A. Sports haematology. Sports Med. 2000. Vol. 29, N. 1. P. 27-38.
6. Dewoolkar A., Patel N. D., Dodich C. Iron deficiency and iron deficiency anemia in adolescent athletes: A systematic review. Int J Child Health Hum Dev. 2014. Vol. 7, N. 1. P. 11-19.
7. Finazzi D., Arosio P. Biology of ferritin in mammals: an update on iron storage, oxidative damage and neurodegeneration. Arch. Toxicol. 2014. Vol. 88, N. 10. P. 1787-1802.
8. Ashenden M.J., Martin D.T., Dobson G.P., Mackintosh C., Hahn A.G. Serum ferritin and anemia in trained female athletes. Int. J. Sport Nutr. 1998. Vol. 8, N. 3. P. 223-229.
9. Koehler K., Braun H., Achtzehn S., Hildebrand U., Predel H.G., Mester J., Schänzer W. Iron status in elite young athletes: gender-dependent influences of diet and exercise. Eur. J. Appl. Physiol. 2012. Vol. 112, N. 2. P. 513-523.
10. Dubnov G., Constantini N.W. (2004). Prevalence of iron depletion and anemia in top-level basketball players. Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab. 2004. Vol. 14, N. 1. P. 30-37.
11. Sinclair L.M., Hinton P.S. Prevalence of iron deficiency with and without anemia in recreationally active men and women. J. Am. Diet. Assoc. 2005. Vol. 105, N. 6. P. 975-978.
12. Clement D.B., Lloyd-Smith D.R., Macintyre J.G., Matheson G.O., Brock R., Dupont M. Iron status in Winter Olympic sports. J. Sports Sci. 1987. Vol. 5, N. 3. P. 261-271.
13. Ahmadi A., Enayatzadeh N., Akbarzadeh M., Asadi S., Tabatabaee S.H.R. Iron status in female athletes participating in team ball-sports. Pak. J. Biol. Sci. 2010. Vol. 13, N. 2. P. 93.
14. Rowland T.W., Kelleher J.F. Iron deficiency in athletes: insights from high school swimmers. Am. J. Dis. Child. 1989. Vol. 143, N. 2. P. 197-200.
15. Beck K. L., Mitchell S., Foskett A., Conlon C. A., Von Hurst P. R. (). Dietary intake, anthropometric characteristics, and iron and vitamin D status of female adolescent ballet dancers living in New Zealand. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2015. Vol. 25, N. 4. P. 335-343.
16. Kokubo Y., Yokoyama Y., Kisara K., Ohira Y., Sunami A., Yoshizaki T., Tada Y., Ishizaki S., Hida A., Kawano, Y. Relationship between dietary factors and bodily iron status among Japanese collegiate elite female rhythmic gymnasts. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2016. Vol. 26, N. 2. P. 105-113.

17. Nachtigall D., Nielsen P., Fischer R., Engelhardt R., Gabbe E.E. Iron deficiency in distance runners a reinvestigation using ⁵⁹Fe-labelling and non-invasive liver iron quantification. *Int. J. Sport Med.* 1996. Vol. 17, N. 7. P. 473-479.
18. Fallon K. E. Utility of hematological and iron-related screening in elite athletes. *Clin. J. Sport Med.* 2004. Vol. 14, N. 3. P. 145-152.
19. Knyazev I. N., Lapitskiy D. V., Ermolkevic R. F., Lysenok T. P., Chirikova T. V. Incidence and structure of iron deficient states in recruits. *Voen. Med.* 2013. Vol. 1. P. 53-57.
20. Mettler S., Zimmermann M.B. Iron excess in recreational marathon runners. *Eur. J. Clin. Nutr.* 2010. Vol. 64, N. 5. P. 490-494.
21. Zotter H., Robinson N., Zorzoli M., Schattenberg L., Saugy M., Mangin P. Abnormally high serum ferritin levels among professional road cyclists. *Br. J. Sports Med.* 2004. Vol. 38, N. 6. P. 704-708.
22. Habte K., Adish A., Zerfu D., Kebede A., Moges T., Tesfaye B., Challa F., Baye K. (). Iron, folate and vitamin B 12 status of Ethiopian professional runners. *Nutr Metab.* 2015. Vol. 12, N. 1. P. 62.
23. Constantini N.W., Eliakim A., Zigel L., Yaaron M., Falk B. Iron status of highly active adolescents: evidence of depleted iron stores in gymnasts. *Int. J. Sport Nutr.* 2000. Vol. 10, N. 1. P. 62-70.
24. Woolf K., Thomas M.M.S., Hahn N., Vaughan L.A., Carlson A.G., Hinton P. Iron status in highly active and sedentary young women. *Int. J. Sport Nutr.* 2009. Vol. 19, N. 5. P. 519.
25. Pate R.R., Miller B.J., Davis J.M., Slentz C.A., Klingshirm L.A. Iron status of female runners. *Int. J. Sport Nutr.* 1993. Vol. 3, N. 2. P. 222-231.
26. Malczewska J, Raczynski G, Stupnicki R. Iron status in female endurance athletes and in non-athletes. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2000. Vol. 10. P. 260-276.
27. Zaitseva I. P., Romanov V. A. Iron-binding proteins and their seasonal variation in association with neutrophil metabolism in students-sportsmen. *Russ. Immunol. Zh.* 2015. Vol. 9, N 18. P. 234-235
28. Zamboni C.B., Kovacs L., Metairon S., Azevedo M.R.A., Furholz C.F., Uchida M.C. (2016). Blood elements concentration in cyclists investigated by instrumental neutron activation analysis. *J. Radioanal. Nucl. Ch.* 2016. Vol. 309. P. 45
29. Sureira T.M., Amancio O.S., Braga J.P. Influence of artistic gymnastics on iron nutritional status and exercise-induced hemolysis in female athletes. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2012. Vol. 22, N. 4. P. 243-250.
30. Milic R., Martinovic J., Dopsaj M., Dopsaj V. Haematological and iron-related parameters in male and female athletes according to different metabolic energy demands. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2011. Vol. 111, N. 3. P. 449-458.
31. Zhemoytyak V. A., Tkach N. V., Lobanovskaya E. N., Maksimchik N. I. Incidence of anemia in children and adolescents going for sport. "Health for all " *Mat. III Internat. Sci.-Pract. Conf. Pinsk.* 2011. Part. 1. P. 87-89.
32. McClung J.P., Marchitelli L.J., Friedl K.E., Young A.J. Prevalence of iron deficiency and iron deficiency anemia among three populations of female military personnel in the US Army. *J. Am. Coll. Nutr.* 2006. Vol. 25, N. 1. P. 64-69.
33. Coates A., Mountjoy M., Burr J. Incidence of Iron Deficiency and Iron Deficient Anemia in Elite Runners and Triathletes. *Clin J Sport Med.* 2017. doi: 10.1097/JSM.0000000000000390
34. Alaunyte I., Stojceska V., Plunkett A., Derbyshire E. Dietary iron intervention using a staple food product for improvement of iron status in female runners. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2014. V. 11, N. 1. P. 1.
35. Saygin O. Examination of some physical, Hematological parameters and iron status of greco-roman wrestlers in the age category of cadets by weight classes. *Anthropologist.* 2014. V. 18, N. 2. P. 325-34.
36. Di Santolo M., Stel G., Banfi G., Gonano F., Cauci S. Anemia and iron status in young fertile non-professional female athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2008. Vol. 102, N. 6. P. 703-709.
37. Sandström G., Börjesson M., Rödger S. Iron Deficiency in Adolescent Female Athletes—Is Iron Status Affected by Regular Sporting Activity? *Clin. J. Sport Med.* 2012. Vol. 22, N. 6. P. 495-500.
38. Ibragimova M. I., Chuloshnikov A. I., Cherepnev G. V., Petukhov V. Yu., Zheglov E. P. Investigation of iron status of the organism at intensive physical load using EPR method. *Biophysics.* 2014. Vol. 59, N. 3. P. 520-526.
39. Erlih V. V. Seasonal biorhythms of blood circulation and certain indicators of dynamic homeostasis in young skiers in the system of integral training. *Uch. Zap. Un-ta. im. P.F. Lesgafta.* 2013. Vol. 3. N. 97. P. 209-213
40. Melnikov A. A., Vikulov A. D. Association of mineral metabolism and blood rheology in athletes. *Fiziol. Chel.* 2003. Vol. 29, N 2. C. 48-56.
41. Zaitseva I. P., Skalny A. A., Tinkov A. A., Berezkina E. S., Grabeklis A. R., Nikonorov A. A., Skalny A. V. Blood essential trace elements and vitamins in students with different physical activity. *Pak J Nutr.* 2015. Vol. 14, N. 10. P. 721.
42. Zaitseva I. P., Berezkina E. S., Skalny A. V. The influence of regular sport activities on micronutrient concentration and mineral content of blood. *Ros. Fiziol. Zhurn. im. I. M. Sechenova.* 2016. Vol. 102, N. 1. C. 89-99
43. Karamizrak S. O., İşlegen C., Varol S. R., Taşkıran Y., Yaman C., Mutaf I., Akgün, N. Evaluation of iron metabolism indices and their relation with physical work capacity in athletes. *Br J Sports Med.* 1996. Vol. 30, N. 1. P. 15-19.
44. Radysch I. I., Dulepova I. I. Peculiarities of hair element composition in gree-roman wrestlers. *Vestnik RUDN. Seria: Meditsinskaya.* 2006. Vol. 1. P. 28-33
45. Zaitseva I. P. Element profile of hair in sportswomen. *Microelem. Med.* 2013. Vol. 14, N 3. C. 36-39.
46. Zaitseva I.P., Skalny A.A., Tinkov A.A., Berezkina E.S., Grabeklis A.R., Skalny A.V. The influence of physical activity on hair toxic and essential trace element content in male and female students. *Biol. Trace Elem. Res.* 2015. Vol. 163, No. 1-2. P. 58-66.
47. Troegubova N. A., Rylova N. V. Peculiarities of macro- and trace element content of saliva of young sportswomen. *Kaz. Med. Zh.* 2015. Vol. 96, N. 2. P. 238-241
48. Troegubova N. A., Rylova N. V., Gilmutdinov R. R., Sereda A. P. Peculiarities of bioelement content in saliva and hair of young sportswomen. *Ros. Vestn. Perinatol. Pediatr.* 2016. Vol. 61, N. 2. P. 84-88.
49. Ordzhonikidze Z. G., Katulin A. N., Skalny A. V. Peculiarities of hair element status in professional footballers. *Microelem. Med.* 2003. Vol. 4, N. 4. P. 25-29
50. Ordzhonikidze Z. G., Katulin A. N., Skalny A. V. Dependence of hair element content on game specialization in professional footballers. *Vestn. Orenburg. Gos. Univer.* 2004. Vol. 4, N. 29. P. 65-66
51. Skalny A. V. Physiological aspects of the use of macro- and trace elements in sport. *Orenburg: IPK OGU,* 2005, P. 130-138.
52. Zhang Y., Li J.H. Dynamic study on the content of both hair and blood plasma iron, zinc, copper and manganese in elite female handball athletes during high intensity summer training. *Trace Elem. Sci.* 2003. Vol. 4. P. 007.
53. Qinfang Q., Zhiyu C., Yingrong W., Jibing T. Investigation of trace elements in hair of athletes by synchrotron radiation X-ray fluorescence analysis. *Nucl. Techn.* 1991. Vol. 14, N. 8. P. 493-496.
54. Krupskaja T., Loseva L., Pushkareva M. et al. Changes in the mineral status in the organisms of young athletes within a one-year training cycle. *Sport Health.* 2016. Vol. 2, P. 38-43.
55. Milasius K., Peciukoniene M., Loseva L. et al. (2016). Influence of physical activity on concentration of macro-and microelements in physically active students' hair. *J. Sport. Sci.* 2016. Vol. 4. P. 189-196
56. DellaValle D.M., Haas J.D. Impact of iron depletion without anemia on performance in trained endurance athletes at the beginning of a training season: a study of female collegiate rowers. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2011. Vol. 21, N. 6. P. 501.
57. Gropper S.S., Blessing D., Dunham K., Barksdale J. M. Iron status of female collegiate athletes involved in different sports. *Biol Trace Elem Res.* 2006. Vol. 109, N. 1. P. 1-13.
58. Zoller H., Vogel W. Iron supplementation in athletes—first do no harm // *Nutrition.* 2004. Vol. 20, N. 7. P. 615-619.

При обследовании женщин, занимающихся спортом, была установлена большая вариабельность данных показателей. В частности, несмотря на отсутствие погрупповых различий в концентрации железа, женщины из группы смешанной нагрузки характеризовались достоверным увеличением ОЖСС (+9%) и концентрации растворимого рецептора к трансферрину (33%), а также снижением уровня ферритина (-35%), насыщения трансферрина (-20%) и общего содержания железа в организме (-24%) по сравнению с аэробным типом нагрузок. Аналогично, концентрация ферритина (+36%), насыщения трансферрина (+20%) и содержания железа в организме (+25%) женщин, характеризующихся аэробным типом нагрузок, достоверно превышала соответствующие значения в группе анаэробного типа энергообеспечения [30].

Различное влияние видов спорта также было продемонстрировано при обследовании детей и подростков. Так, распространённость железодефицитной анемии у девушек, занимающихся циклическими, игровыми, скоростно-силовыми, сложнокоординационными видами спорта, а также единоборствами составила 37,5, 30,9, 17,8, 28,5, а также 14,8% соответственно. При этом распространённость анемий у юношей была существенно ниже во всех видах спорта, составляя 3,1% в общей когорте против 37,5% у девушек [31]. При обследовании 1216 женщин, поступивших на службу в армию США, наибольшая распространённость железодефицита и анемии выявлена у субъектов, проходящих курс первичной тренировки (32,8 и 20,9%), по сравнению с 13,4 и 5,8% и 9,6 и 4,8% у новобранцев и служащих на постоянной основе не менее шести месяцев соответственно. Кроме того, была установлена этническая зависимость. Так, наибольшая распространённость железодефицитной анемии наблюдалась у латиноамериканок (21,9%) и афроамериканок (22,9%) по сравнению с европеоидами (10,5%) [32].

Результаты недавнего исследования показали, что среди мужчин, занимающихся триатлоном и бегом, встречаемость железодефицита ($Hb < 140$ г/л) однократно составляла 87,5 и 31,3% соответственно. Аналогичные показатели у женщин ($Hb < 120$ г/л) имели место у 20% занимающихся триатлоном и вовсе не отмечались у занимающихся бегом [33]. Интересно, что у борцов греко-римского стиля было выявлено достоверное повышение концентрации ферритина в сыворотке крови по мере увеличения веса. При этом показатели феррити-

немии у спортсменов в тяжелом весе превышали соответствующие значения в группе легкого веса более чем в 2 раза (соответственно $59,13 \pm 29,83$ и $21,55 \pm 5,76$ нг/мл) [34].

Ряд исследований выявил отсутствие выраженной взаимосвязи между занятиями спортом и железодефицитом. В частности, оценка различных параметров обеспеченности железом у 121 женщины с низкой физической активностью и 70 спортсменов-любителей, нерегулярно занимающихся спортом, позволила выявить отсутствие достоверных различий в частоте анемии, железодефицита или железодефицитной анемии. В то же время спортсмены были втрое больше предрасположены к снижению уровня сывороточного железа ниже 50 мкг/дл. При этом снижение насыщения трансферрина ниже 15%, а также достоверное увеличение концентрации растворимых рецепторов к трансферрину вдвое чаще встречалось у женщин с высокой физической активностью [36]. Аналогичные результаты были получены в исследовании, проведенном в Гетеборге (Швеция). Так, распространённость железодефицита у женщин-спортсменок и контрольной группы составляла 52% (30 из 57) и 48% (43 из 92) соответственно, свидетельствуя об отсутствии достоверных различий. Не было выявлено достоверных различий и в концентрации гемоглобина и распространённости железодефицитной анемии [37].

Результаты исследования методом электронного парамагнитного резонанса показали, что при одинаковой концентрации сывороточного железа у спортсменов и в контрольной группе лица, занимающиеся спортом, характеризовались большей концентрацией Fe^{3+} -трансферрина [38]. В другом исследовании при отсутствии снижения уровня трансферрина ниже контрольных значений у лыжников-гонщиков отмечена сезонная вариабельность данного показателя, характеризующаяся максимальным уровнем в зимний период [39]. Несмотря на отсутствие достоверных различий в концентрации железа сыворотки крови у лиц контрольной группы и спортсменов, последние характеризовались большей вариабельностью данного показателя, что свидетельствует о влиянии интенсивной физической нагрузки на регуляторные механизмы обмена железа [40].

Отметим, что ранее проведенные исследования не выявили достоверных погрупповых различий в концентрации железа в цельной крови [41] и сыворотке студентов с высокой, средней и низкой активностью [42].

Установлено, что занятие различными спортивными дисциплинами оказывает разное влияние на показатели обмена железа у лиц разного пола. В частности, среди женщин, занимающихся плаванием, бегом, а также гандболом, наименьшие показатели сывороточного ферритина наряду с достоверно наибольшей ОЖСС отмечались именно у последних. При этом достоверно наибольшая концентрация ферритина выявлена у спортсменок, занимающихся бегом. Однако стоит иметь в виду относительно низкое число наблюдений (3) в данной группе. Несмотря на это, при анализе общей когорты женщин выявлена достоверная взаимосвязь между уровнем ферритина, насыщением трансферрина, а также PWC_{170} у женщин. В то же время выраженного влияния спортивной дисциплины на показатели обмена железа выявлено не было у большого числа спортсменов мужского пола различного профиля (футбол, борьба, плавание, баскетбол, бодибилдинг). Также, несмотря на увеличение данных маркеров после введения железа, как у мужчин, так и у женщин не было выявлено достоверных изменений PWC_{170} [43].

ОЦЕНКА ОБМЕНА ЖЕЛЕЗА НА ОСНОВАНИИ ДРУГИХ СУБСТРАТОВ

Наряду с исследованием уровня железа в сыворотке, равно как и определением биохимических показателей обмена железа, особое внимание уделяется исследованию других индикаторных биосубстратов для оценки обмена железа. В частности, при исследовании содержания железа в волосах борцов греко-римского стиля установлено 40%-ное снижение этого показателя относительно значений контрольной группы ($13,1 \pm 0,5$ и $21,8 \pm 1,4$ мкг/г соответственно) [44]. Напротив, результаты наших исследований продемонстрировали достоверное более чем в три раза увеличение ($p < 0,001$) содержания железа в волосах девушек-спортсменок по сравнению с величиной данного параметра у студенток с низкой физической активностью [45]. При более детальном анализе было выявлено достоверное снижение уровня железа в волосах студенток со средней и низкой физической активностью по сравнению с девушками, занимающимися спортом, на 61 и 51% соответственно. При обследовании аналогичных групп юношей выявлены менее выраженные, но в то же время достоверные изменения. Так, содержание железа в волосах спортсменов превышало таковое

у лиц со средней и низкой физической активностью на 42 и 75% соответственно [46]. При сравнительном анализе содержания микроэлементов в волосах школьников (контроль), а также подростков пловцов, хоккеистов и фехтовальщиков установлено достоверное увеличение уровня железа в волосах последних по сравнению с контрольными значениями [47]. Однако результаты ранее проведенного данной группой исследователей работы показали, что содержание железа в волосах подростков, занимающихся хоккеем на траве и фехтованием, характеризовалось снижением относительно контрольных значений [48].

Было установлено достоверное 30% увеличение уровня железа у профессиональных футболистов по сравнению с контрольной группой [49]. В то же время достоверных различий в содержании железа в волосах футболистов различной специализации (вратарь, защитник, полузащитник, нападающий) выявлено не было [50]. Уровень железа в волосах и моче футболистов с более высокими значениями PWC_{170} был на 12 и 45% ниже соответствующих показателей футболистов с меньшими значениями PWC_{170} [51]. Обследование высококлассных гандболисток выявило достоверное снижение уровня железа в волосах после летнего тренировочного периода. Наблюдаемые изменения в волосах спортсменов были взаимосвязаны со снижением плазматической концентрации железа, которое характеризовалось резким снижением уже в первую неделю тренировок [52]. Результаты другого исследования, ранее проведенного в Китае, показали, что динамика изменения уровня железа в волосах спортсменов взаимосвязана с работоспособностью [53].

При анализе уровня железа в волосах спортсменов, занимающихся плаванием, теннисом и тхэквондо, в различные периоды (подготовительный, соревновательный, промежуточный) установлено, что во всех группах максимальный уровень железа в волосах отмечался в подготовительный период, а то время как достоверно наименьший – в соревновательный период [54]. При сравнительном анализе содержания железа в волосах спортсменов, занимающихся различными видами спорта, установлено, что данный показатель у лиц, занимающихся игровыми видами спорта, на 23 и 32% ниже, чем у лиц, тренирующихся на выносливость и занимающихся боевыми искусствами (бокс, борьба) [55].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований достаточно противоречивы, хотя и указывают на тенденцию к формированию железодефицита в организме спортсменов и лиц, подверженных интенсивным физическим нагрузкам. По крайней мере отчасти данные противоречия могут быть обусловлены использованием различных маркеров обмена железа, каждый из которых имеет свои ограничения и сильные стороны. В связи с этим для наиболее полной оценки состояния обмена железа в организме спортсменов рекомендуется сочетание нескольких способов, включая как прямое определение железа в индикаторных биосубстратах (кровь и ее компоненты, волосы, ногти, моча), так и оценку концентрации железосодержащих белков.

Также необходимо учитывать возможность увеличения концентрации ферритина в сыворотке крови спортсменов как реакцию острой фазы [56]. В то же время имеющиеся литературные данные не должны рассматриваться как руководство к необоснованному применению железосодержащих биологических добавок спортсменами, что часто имеет место. Решение о необходимости приема препаратов железа должно основываться на результатах персонализированной диагностики, учитывая возможность формирования избытка железа с реализацией его токсических свойств [58].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А.* Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. СПб: Наука. 2008. 544 с.
2. *Latunde-Dada G.O.* Iron metabolism in athletes-achieving a gold standard // *Eur. J. Haematol.* 2013. V. 90. № 1. P. 10–15.
3. *Вировец А.А.* О повышенных потерях макро- и микроэлементов при занятии спортом и целесообразности их компенсации биологически активными добавками // *Вопросы питания.* 2009. Т. 78. С. 2.
4. *Suedekum N.A., Dimeff R.J.* Iron and the athlete // *Curr. Sports Med. Rep.* 2005. V. 4. № 4. P. 199–202.
5. *Shaskey D.J., Green G.A.* Sports haematology // *Sports Med.* 2000. V. 29. № 1. P. 27–38.
6. *Dewoolkar A., Patel N. D., Dodich C.* Iron deficiency and iron deficiency anemia in adolescent athletes: A systematic review // *Int. J. Child Health Hum. Dev.* 2014. V. 7. № 1. P. 11–19.
7. *Finazzi D., Arosio P.* Biology of ferritin in mammals: an update on iron storage, oxidative damage and neurodegeneration // *Arch. Toxicol.* 2014. V. 88. № 10. P. 1787–1802.
8. *Ashenden M.J., Martin D.T., Dobson G.P., Mackintosh C., Hahn A.G.* Serum ferritin and anemia in trained female athletes // *Int. J. Sport Nutr.* 1998. V. 8. № 3. P. 223–229.
9. *Koehler K., Braun H., Achtzehn S., Hildebrand U., Predel H.G., Mester J., Schänzer W.* Iron status in elite young athletes: gender-dependent influences of diet and exercise // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2012. V. 112. № 2. P. 513–523.
10. *Dubnov G., Constantini N.W.* Prevalence of iron depletion and anemia in top-level basketball players // *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2004. V. 14. № 1. P. 30–37.
11. *Sinclair L.M., Hinton P.S.* Prevalence of iron deficiency with and without anemia in recreationally active men and women // *J. Am. Diet. Assoc.* 2005. V. 105. № 6. P. 975–978.
12. *Clement D.B., Lloyd-Smith D.R., Macintyre J.G., Mathe-son G.O., Brock R., Dupont M.* Iron status in Winter Olympic sports // *J. Sports Sci.* 1987. V. 5. № 3. P. 261–271.
13. *Ahmadi A., Enayatizadeh N., Akbarzadeh M., Asadi S., Tabatabaee S.H.R.* Iron status in female athletes participating in team ball-sports // *Pak. J. Biol. Sci.* 2010. V. 13. № 2. P. 93.
14. *Rowland T.W., Kelleher J.F.* Iron deficiency in athletes: insights from high school swimmers // *Am. J. Dis. Child.* 1989. V. 143. № 2. P. 197–200.
15. *Beck K. L., Mitchell S., Foskett A., Conlon C. A., Von Hurst P.R.* Dietary intake, anthropometric characteristics, and iron and vitamin D status of female adolescent ballet dancers living in New Zealand // *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2015. V. 25. № 4. P. 335–343.
16. *Kokubo Y., Yokoyama Y., Kisara K., Ohira Y., Sunami A., Yoshizaki T., Tada Y., Ishizaki S., Hida A., Kawano Y.* Relationship between dietary factors and bodily iron status among Japanese collegiate elite female rhythmic gymnasts // *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2016. V. 26. № 2. P. 105–113.
17. *Nachtigall D., Nielsen P., Fischer R., Engelhardt R., Gabbe E.E.* Iron deficiency in distance runners: a reinvestigation using ⁵⁹Fe-labelling and non-invasive liver iron quantification // *Int. J. Sport Med.* 1996. V. 17. № 7. P. 473–479.
18. *Fallon K.E.* Utility of hematological and iron-related screening in elite athletes // *Clin. J. Sport Med.* 2004. V. 14. № 3. P. 145–152.
19. *Князев И.Н., Лапицкий Д.В., Ермолкин Р.Ф., Лысенко Т.П., Чурикова Т.В.* Распространенность и структура железодефицитных состояний у военнослужащих по призыву // *Военная медицина.* 2013. Т. 1. С. 53–57.
20. *Mettler S., Zimmermann M.B.* Iron excess in recreational marathon runners // *Eur. J. Clin. Nutr.* 2010. V. 64. № 5. P. 490–494.
21. *Zotter H., Robinson N., Zorzoli M., Schattenberg L., Saugy M., Mangin P.* Abnormally high serum ferritin levels among professional road cyclists // *Br. J. Sports Med.* 2004. V. 38. № 6. P. 704–708.
22. *Habte K., Adish A., Zerfu D., Kebede A., Moges T., Tesfaye B., Challa F., Baye K.* Iron, folate and vitamin B 12 status of Ethiopian professional runners // *Nutr Metab.* 2015. V. 12. № 1. P. 62.
23. *Constantini N.W., Eliakim A., Zigel L., Yaaron M., Falk B.* Iron status of highly active adolescents: evidence of depleted iron stores in gymnasts // *Int. J. Sport Nutr.* 2000. V. 10. № 1. P. 62–70.
24. *Woolf K., Thomas M.M.S., Hahn N., Vaughan L.A., Carlson A.G., Hinton P.* Iron status in highly active and sedentary young women // *Int. J. Sport Nutr.* 2009. V. 19. № 5. P. 519.
25. *Pate R.R., Miller B.J., Davis J.M., Slentz C.A., Klingshirn L.A.* Iron status of female runners // *Int. J. Sport Nutr.* 1993. V. 3. № 2. P. 222–231.
26. *Malczewska J., Raczyński G., Stupnicki R.* Iron status in female endurance athletes and in non-athletes // *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2000. V. 10. P. 260–276.
27. *Зайцева И.П., Романов В.А.* Железосвязывающие белки их сезонные изменения и связи с метаболизмом нейтро-

- филов у студентов-спортсменов // Российский иммунологический журнал. 2015. Т. 9. № 18. С. 234–235
28. *Zamboni C.B., Kovacs L., Metairon S., Azevedo M.R.A., Furholz C.F., Uchida M.C.* Blood elements concentration in cyclists investigated by instrumental neutron activation analysis // *J. Radioanal. Nucl. Ch.* 2016. V. 309. P. 45
 29. *Sureira T.M., Amancio O.S., Braga J.P.* Influence of artistic gymnastics on iron nutritional status and exercise-induced hemolysis in female athletes // *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2012. V. 22. № 4. P. 243–250.
 30. *Milic R., Martinovic J., Dopsaj M., Dopsaj V.* Haematological and iron-related parameters in male and female athletes according to different metabolic energy demands // *Eur. J. Appl. Physiol.* 2011. V. 111. № 3. P. 449–458.
 31. *Жемойтяк В.А., Ткач Н.В., Лобановская Е.Н., Максимчик Н.И.* Распространенность анемий у детей и подростков, занимающихся спортом // *Материалы III Междунар. науч.-практ. конф. «Здоровье для всех».* Пинск. 2011. Ч. 1. С. 87–89.
 32. *McClung J.P., Marchitelli L.J., Friedl K.E., Young A.J.* Prevalence of iron deficiency and iron deficiency anemia among three populations of female military personnel in the US Army // *J. Am. Coll. Nutr.* 2006. V. 25. № 1. P. 64–69.
 33. *Coates A., Mountjoy M., Burr J.* Incidence of Iron Deficiency and Iron Deficient Anemia in Elite Runners and Triathletes // *Clin J. Sport. Med.* 2017. doi: 10.1097/JSM.0000000000000390.
 34. *Alaunyte I., Stojceska V., Plunkett A., Derbyshire E.* Dietary iron intervention using a staple food product for improvement of iron status in female runners // *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 2014. V. 11. № 1. P. 1.
 35. *Saygin O.* Examination of some physical, Hematological parameters and iron status of greco-roman wrestlers in the age category of cadets by weight classes // *Anthropologist.* 2014. V. 18. № 2. P. 325–334.
 36. *Di Santolo M., Stel G., Banfi G., Gonano F., Cauci S.* Anemia and iron status in young fertile non-professional female athletes // *Eur J Appl Physiol.* 2008. V. 102. № 6. P. 703–709.
 37. *Sandström G., Börjesson M., Rödger S.* Iron deficiency in adolescent female athletes – Is iron status affected by regular sporting activity? // *Clin. J. Sport Med.* 2012. V. 22. № 6. P. 495–500.
 38. *Ибрагимова М.И., Чушиников А.И., Черепнев Г.В., Петухов В.Ю., Жеглов Е.П.* Исследование методом ЭПР статуса железа в организме при интенсивных физических нагрузках // *Биофизика.* 2014. Т. 59. № 3. С. 520–526.
 39. *Эрлих В.В.* Сезонные биоритмы системы кровообращения и ряда показателей динамичного гомеостаза у юных лыжников-гонщиков в системе интегральной подготовки // *Ученые записки ун-та им. П. Ф. Лесгафта.* 2013. Т. 3. № 97. С. 209–213
 40. *Мельников А.А., Вукулов А.Д.* Взаимосвязь минерального обмена и реологических свойств крови у спортсменов // *Физиология человека.* 2003. Т. 29. № 2. С. 48–56.
 41. *Zaitseva I.P., Skalny A.A., Tinkov A.A., Berezkina E.S., Grabeklis A.R., Nikonorov A.A., Skalny A.V.* Blood essential trace elements and vitamins in students with different physical activity // *Pak. J. Nutr.* 2015. V. 14. № 10. P. 721.
 42. *Зайцева И.П., Березкина Е.С., Скальный А.В.* Влияние регулярных занятий спортом на концентрацию микронутриентов и минеральный состав крови // *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова.* 2016. Т. 102. № 1. С. 89–99
 43. *Karamizrak S.O., İşlegen C., Varol S.R., Taşkıran Y., Yaman C., Mutaf I., Akgün.* Evaluation of iron metabolism indices and their relation with physical work capacity in athletes // *Br. J. Sports. Med.* 1996. V. 30. № 1. P. 15–19.
 44. *Радыш И.И., Дуленова И.И.* Особенности элементного состава волос у борцов греко-римского стиля // *Вестник РУДН. Сер. Медицина.* 2006. Т. 1. С. 28–33
 45. *Зайцева И.П.* Элементный профиль волос девушек-спортсменок // *Микроэлементы в медицине.* 2013. Т. 14. № 3. С. 36–39.
 46. *Zaitseva I.P., Skalny A.A., Tinkov A.A., Berezkina E.S., Grabeklis A.R., Skalny A.V.* The influence of physical activity on hair toxic and essential trace element content in male and female students // *Biol. Trace Elem. Res.* 2015. V. 163. № 1–2. P. 58–66.
 47. *Троегубова Н.А., Рылова Н.В.* Особенности макро- и микроэлементного состава слюны юных спортсменов // *Казанский медицинский журнал.* 2015. Т. 96. № 2. С. 238–241.
 48. *Троегубова Н.А., Рылова Н.В., Гильмутдинов Р.П., Середя А.П.* Особенности содержания биоэлементов в слюне и волосах юных спортсменов // *Российский вестник перинатологической педиатрии.* 2016. Т. 61. № 2. С. 84–88.
 49. *Орджоникидзе З.Г., Катулин А.Н., Скальный А.В.* Особенности элементного статуса волос профессиональных футболистов // *Микроэлементы в медицине.* 2003. Т. 4. № 4. С. 25–29
 50. *Орджоникидзе З.Г., Катулин А.Н., Скальный А.В.* Зависимость элементного состава волос от игровой специализации профессиональных футболистов // *Вестник Оренбургского государственного университета.* 2004. Т. 4. № 29. С. 65–66.
 51. *Скальный А.В.* Физиологические аспекты применения макро- и микроэлементов в спорте. Оренбург: ИПК ОГУ. 2005. С. 130–138.
 52. *Zhang Y., Li J.H.* Dynamic study on the content of both hair and blood plasma iron, zinc, copper and manganese in elite female handball athletes during high intensity summer training // *Trace Elem. Sci.* 2003. V. 4. P. 007.
 53. *Qinfang Q., Zhiyu C., Yingrong W., Jibing T.* Investigation of trace elements in hair of athletes by synchrotron radiation X-ray fluorescence analysis // *Nucl. Techn.* 1991. V. 14. № 8. P. 493–496.
 54. *Krupskaja T., Loseva L., Pushkareva M., et al.* Changes in the mineral status in the organisms of young athletes within a one-year training cycle // *Sport Health.* 2016. V. 2. P. 38–43.
 55. *Milasius K., Peciukoniene M., Loseva L., et al.* Influence of physical activity on concentration of macro-and microelements in physically active students' hair // *J. Sport. Sci.* 2016. V. 4. P. 189–196.
 56. *DellaValle D.M., Haas J.D.* Impact of iron depletion without anemia on performance in trained endurance athletes at the beginning of a training season: a study of female collegiate rowers // *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2011. V. 21. № 6. P. 501.
 57. *Gropper S.S., Blessing D., Dunham K., Barksdale J.M.* Iron status of female collegiate athletes involved in different sports // *Biol. Trace Elem. Res.* 2006. V. 109. № 1. P. 1–13.
 58. *Zoller H., Vogel W.* Iron supplementation in athletes – first do no harm // *Nutrition.* 2004. V. 20. № 7. P. 615–619.

Поступила 15 июня 2017 г.