

<https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.3.1>

УДК 612.117:796

Тип статьи: Оригинальное исследование / Original Article



Связи адренореактивности эритроцитов с их количественными и качественными характеристиками как способ оценки реологических свойств крови у лиц с разным уровнем двигательной активности

А.З. Даутова^{1,*}, Е.Е. Исаева², В.Г.Шамратова²

¹ ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Казань, Россия

² ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Уфа, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: прогноз реологических свойств крови у юношей с разным уровнем двигательной активности (ДА) путем оценки взаимосвязи адренореактивности эритроцитов (АРЭ) с их количественными и качественными параметрами.

Материалы и методы: в исследовании приняли участие юноши с низким (41 чел.) и с высоким уровнем ДА (спортсмены — 20 чел.), в возрасте 21–23 года. У всех испытуемых определяли суммарные, индивидуальные характеристики эритроцитов и АРЭ. Оценку АРЭ проводили по изменению скорости оседания эритроцитов (СОЭ) под действием адреналина *in vitro* в конечных концентрациях 10^{-5} ; 10^{-6} ; 10^{-7} ; 10^{-8} ; 10^{-9} ; 10^{-11} ; 10^{-13} г/мл венозной крови. По характеру наблюдаемого эффекта в соответствии с направленностью сдвигов СОЭ выделяли 3 типа АРЭ: повышение СОЭ в присутствии адреналина — агрегационный (Аг, тип 1); отсутствие изменений — ареактивный (Ар, тип 2); снижение СОЭ — антиагрегационный (АнАг, тип 3).

Результаты: у спортсменов установлены обратные корреляционные связи типов АРЭ при воздействии стрессовыми концентрациями адреналина (СКА) (выше 10^{-8} г/мл) с уровнем гемоглобина ($r = -0,59$, $p = 0,008$), средним содержанием гемоглобина в эритроците ($r = -0,55$, $p = 0,016$), при воздействии физиологическими концентрациями адреналина (ФКА) (10^{-9} г/мл и ниже) — с корпускулярным объемом эритроцитов ($r = -0,51$, $p = 0,029$). У юношей с низким уровнем ДА обнаружена обратная корреляция минимальных значений АРЭ с числом эритроцитов ($r = -0,36$, $p = 0,01$), а максимальных — со средней концентрацией гемоглобина в клетке ($r = 0,54$, $p = 0,04$).

Заключение: у юношей, ведущих малоподвижный образ жизни, склонность эритроцитов к агрегации под действием адреналина возрастает с увеличением их численности и внутриклеточной вязкости. У спортсменов преобладание АнАг типа АРЭ, а следовательно, более стабильных реологических свойств эритроцитов и улучшению микроциркуляции способствуют снижение размеров эритроцитов и средней насыщенности клеток гемоглобином.

Ключевые слова: адренореактивность эритроцитов, двигательная активность, реология, микроциркуляция, спортсмены

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Даутова А.З., Исаева Е.Е., Шамратова В.Г. Связи адренореактивности эритроцитов с их количественными и качественными характеристиками как способ оценки реологических свойств крови у лиц с разным уровнем двигательной активности. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2021;11(3):5–11. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.3.1>

Поступила в редакцию: 05.06.2021

Принята к публикации: 29.08.2021

Online first: 15.09.2021

Опубликована: 30.09.2021

* Автор, ответственный за переписку

Relationship of erythrocyte adrenoreactivity with their quantitative and qualitative characteristics as a method for assessing the rheological properties of blood in athletes

Al'pina Z. Dautova^{1,*}, Ekaterina E. Isaeva², Valentina G. Shamratova²

¹ Volga State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan, Russia

² Bashkir State Medical University, Ministry of Health of Russia, Ufa, Russia

ABSTRACT

Objective of the study: prediction of the rheological properties of blood in young men with different levels of motor activity (MA) by assessing the relationship between the adrenergic reactivity of erythrocytes (ARE) with their quantitative and qualitative parameters.

Materials and methods: the study involved young men with a low (41 people) and a high level of physical activity (athletes — 20 people), aged 21–23 years. In all subjects, the total, individual characteristics of erythrocytes and ARE were determined. ERS was assessed by the change in the erythrocyte sedimentation rate (ESR) under the influence of adrenaline in vitro at final concentrations of 10^{-5} ; 10^{-6} ; 10^{-7} ; 10^{-8} ; 10^{-9} ; 10^{-11} ; 10^{-13} g/ml venous blood. According to the nature of the observed effect, in accordance with the direction of ESR shifts, 3 types of ARE were distinguished: increased ESR in the presence of adrenaline — aggregative (Ar, type 1); no changes — areactive (Ap, type 2); decreased ESR — antiaggregatory (AnAg, type 3).

Results: in athletes, inverse correlations of the ARE types were established when exposed to stress concentrations of adrenaline (SCA) (above 10^{-8} g/ml) with the hemoglobin level ($r = -0.59$, $p = 0.008$), the average hemoglobin content in the erythrocyte ($r = -0.55$, $p = 0.016$), when exposed to physiological concentrations of adrenaline (PCA) (10^{-9} g/ml and below) — with the corpuscular volume of erythrocytes ($r = -0.51$, $p = 0.029$). In young men with a low level of MA, an inverse correlation was found between the minimum ARE values and the number of erythrocytes ($r = -0.36$, $p = 0.01$), and the maximum — with the average concentration of hemoglobin in the cell ($r = 0.54$, $p = 0.04$).

Conclusion: in young men leading a sedentary lifestyle, the tendency of erythrocytes to aggregate under the influence of adrenaline increases with an increase in their number and intracellular viscosity. In athletes, the predominance of the antiaggregatory type of ARE, and, consequently, more stable rheological properties of erythrocytes and an improvement in microcirculation, are facilitated by a decrease in the size of erythrocytes and an average saturation of cells with hemoglobin.

Keywords: adrenoreactivity of erythrocytes, motor activity, rheology, microcirculation, athletes

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Dautova A.Z., Isaeva E.E., Shamratova V.G. Relationship of erythrocyte adrenoreactivity with their quantitative and qualitative characteristics as a method for assessing the rheological properties of blood in athletes. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2021;11(3):5–11 (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.3.1>

Received: 5 June 2021

Accepted: 29 August 2021

Online first: 15 September 2021

Published: 30 September 2021

* Corresponding author

1. Введение

Кровь, при общей тенденции к сохранению постоянства своего морфологического и химического состава, является в то же время одним из наиболее чувствительных показателей изменений, происходящих в организме под влиянием различных функциональных нагрузок, в том числе при физическом и эмоциональном напряжении. Изменения крови при мышечных нагрузках разнообразны и зависят не только от их интенсивности, но и от общей реактивности организма [1, 2]. Учитывая, что спортивная деятельность связана с повышенным спросом на кислород, наибольший интерес представляют эритроциты, от эффективности функционирования которых зависит реализация адекватной реакции на чрезмерную физическую нагрузку [3, 4]. Вместе с тем сдвиги, компенсирующие возрастающие энергетические затраты организма, в частности адаптивное увеличение в сосудистом русле числа эритроцитов и концентрации гемоглобина в клетках, сопровождается увеличением вязкости и ухудшением реологических свойств крови, что проявляется нарушением микроциркуляции.

Кроме того, ощутимый вклад в нарушение суспензионной стабильности крови может вносить повышение содержания в крови катехоламинов, сопряженное при спортивной деятельности с психоэмоциональными перегрузками спортсменов. Известно, что в отдельных случаях физические нагрузки могут нарушать структуру и функции мембран эритроцитов, приводящие к их агрегации [5]. Ранее нами было выявлено влияние адреналина на поверхностный заряд эритроцитов — один

из факторов агрегационной устойчивости клеток в кровотоке как в опытах *in vivo*, так и опосредованно при напряженной спортивной и умственной деятельности. В частности, установлено, что выраженность реакции эритроцитов зависит от характера, интенсивности и вида предъявляемой организму функциональной нагрузки [6, 7].

В связи с этим представляет интерес анализ адренореактивности эритроцитов (АРЭ), позволяющий не только адекватно оценить функциональное состояние эритроцитов, но и изучить общие закономерности реакции на адреналин мембран различных клеток [8].

Поскольку при физических нагрузках варьируют как количественные, качественные и корпускулярные характеристики эритроцитов, так и их АРЭ [9], следует ожидать, что при спортивной деятельности происходит перестройка структуры связей различных параметров красной крови с адренореактивностью эритроцитов.

Цель исследования: изучить связи адренореактивности эритроцитов с их количественными и морфофункциональными параметрами у юношей с разным уровнем двигательной активности для прогноза реологического поведения крови при интенсивных физических нагрузках.

2. Материалы и методы исследования

В исследовании принял участие 61 юноша с разным уровнем двигательной активности (ДА) в возрасте 21–23 года. Первую группу составил 41 практически здоровый юноша, не занимающийся спортом, с традиционным регламентированным двигательным режимом, предусмотренным в высшем учебном заведении (2 часа

физической культуры в неделю) (НДА). Во вторую группу вошли 20 юношей — спортсменов (кикбоксинг, тяжелая атлетика, бокс), не имеющих спортивных разрядов, со спортивным стажем 3–4 года (ВДА). Исследование проводилось в подготовительном периоде годичного цикла тренировки. Все испытуемые подписали добровольное письменное согласие, были осведомлены о целях и методах исследования.

В исследовании использовали венозную кровь, собранную в пробирку с ЭДТА2. В крови определяли RBC — абсолютное количество эритроцитов ($10^{12}/л$), HGB — уровень гемоглобина (г/л), HCT — гематокрит (%), эритроцитарные индексы: MCV — средний объем эритроцита (фл), MCH — среднее содержание гемоглобина в отдельном эритроците (пг), MCHC — среднюю концентрацию гемоглобина в эритроците (г/л).

Адренореактивность эритроцитов оценивали по изменению скорости оседания эритроцитов под действием адреналина *in vitro* в конечных концентрациях 10^{-5} ; 10^{-6} ; 10^{-7} ; 10^{-8} ; 10^{-9} ; 10^{-11} ; 10^{-13} г/мл венозной крови. В соответствии с направленностью сдвигов СОЭ в присутствии адреналина мы выделили 3 типа АРЭ, обозначенные как: 1) агрегационный (Аг — 1-й тип), при котором средние отклонения СОЭ от уровня исходной пробы при различной концентрации адреналина имели отрицательный знак: после внесения адреналина значения СОЭ были выше, чем в контроле (негативный эффект); 2) ареактивный (Ар — 2-й тип), при отсутствии заметного отклонения СОЭ при внесении адреналина в различной концентрации; 3) антиагрегационный (АнАг — 3-й тип), если средние отклонения СОЭ от исходного уровня имели положительный знак, то есть после внесения адреналина значения СОЭ были ниже, чем в исходной пробе (положительный эффект). Учитывая, что действие адреналина на клетки определяется его концентрацией, мы оценивали эффекты адреналина отдельно для его физиологических (10^{-9} ; 10^{-11} ; 10^{-13} г/мл) (ФКА) и стрессовых (10^{-5} ; 10^{-6} ; 10^{-7} ; 10^{-8} г/мл) концентраций (СКА). Помимо регистрации направленности сдвигов в эксперименте определялись и количественные показатели АРЭ: средние значения при воздействии на кровь физиологических (АРЭ ср. ФКА) и стрессовых доз адреналина (АРЭ ср. СКА), а также максимальное (АРЭ макс.) и минимальное (АРЭ мин.) отклонений СОЭ от исходного уровня при воздействии на кровь испытанных доз адреналина.

Математическая обработка проведена с помощью пакета программ Microsoft Office Excel и Statistics Version 10.0. Проверку выборки на характер распределения ее значений осуществляли с помощью критерия Шапиро — Уилка. Так как распределение некоторых показателей отличалось от нормального, использовались непараметрические методы обработки. Для сравнения двух независимых выборок применялся критерий Манна — Уитни. Для проведения корреляционного анализа использовался критерий Спирмена. Критическое значение уровня значимости принимали равным 0,05.

3. Результаты исследования

Сравнительный анализ крови у спортсменов и юношей, не занимающихся спортом, продемонстрировал некоторые различия количественных и качественных показателей эритроцитов. Так, число эритроцитов было достоверно выше в группе спортсменов ($5,05 (4,8; 5,1)$ г/л) по сравнению с группой юношей, ведущих малоподвижный образ жизни ($4,8 (4,5; 5,1)$ г/л, $p = 0,04$), тогда как среднее содержание гемоглобина в клетке у спортсменов было ниже ($28,7 (27,5; 29,9)$ пг), чем у спортсменов ($29,8 (28,3; 31,3)$ пг, $p = 0,02$).

Средние значения параметров АРЭ под влиянием ФКА спортсменов были несколько выше ($0,28 (-0,3; 1)$ мм/ч), чем у лиц, ведущих малоактивный образ жизни ($-0,48 (-1; 0)$ мм/ч). АРЭ ср. при воздействии СКА у спортсменов составила $-0,27 (-1,5; 0,5)$ мм/ч, у спортсменов — $-0,52 (-1,5; 0)$ мм/ч. Однако данные различия не были статистически значимыми.

При сравнении частоты встречаемости разных типов АРЭ у спортсменов и в группе НДА оказалось, что у спортсменов доля лиц с АнАг была выше, чем в группе НДА (рис. 1).

Анализ взаимосвязей АРЭ с некоторыми морфофункциональными и количественными характеристиками эритроцитов у спортсменов и юношей, ведущих

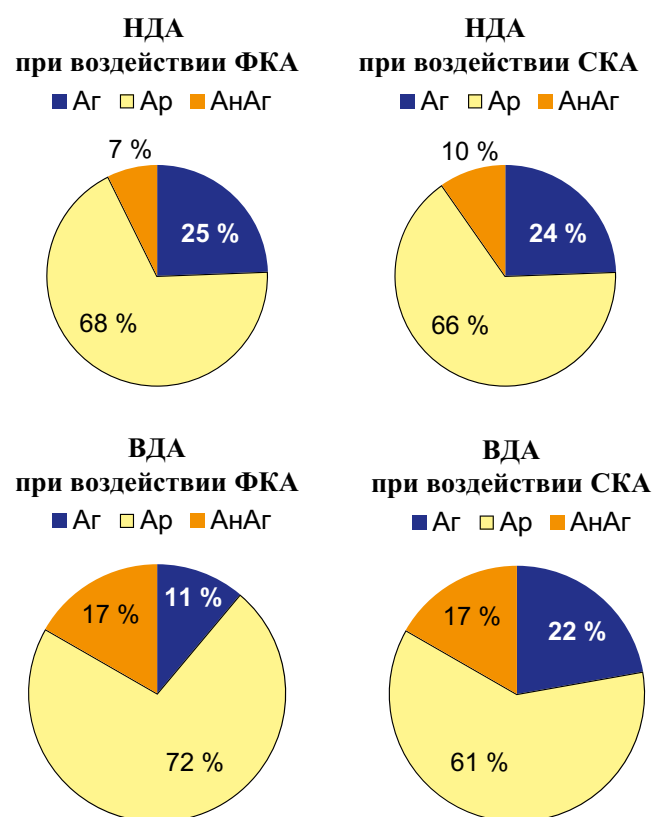


Рис. 1. Частота встречаемости типов АРЭ у юношей при разном уровне ДА

Fig. 1. Frequency of occurrence of ARE types in young men with different levels of MA

малоподвижный образ жизни, позволил выявить ряд особенностей.

У спортсменов обнаружены значимые связи типов АРЭ при воздействии СКА с концентрацией HGB и МСН, физиологическими дозами — с МСV. Так, в зависимости от типа АРЭ наблюдались следующие вариации концентрации гемоглобина (Аг: 155 (8,1) г/л, Ар: 142,2 (10,6) г/л, Анаг: 137,3 (3,1) г/л); МСН (Аг: 30,3 (2,26) пг, Ар: 28,7 (1,29) пг, Анаг: 26,0 (2,6) пг) и МСV (Аг: 85,2 (2,9) фл, Ар: 85,4 (1,9) фл, Анаг: 78,7 (5,5) фл). Достоверные корреляционные связи составили соответственно $r = -0,59$, $p = 0,008$; $r = -0,55$, $p = 0,016$; $r = -0,51$, $p = 0,029$ (табл. 1).

Таким образом, у спортсменов чем ниже насыщенность эритроцитов гемоглобином, тем чаще среди них встречаются лица с Анаг типом АРЭ и, соответственно, ниже агрегационная способность эритроцитов при воздействии стрессовыми дозами адреналина. Корпускулярный объем эритроцитов также имел тенденцию к уменьшению у спортсменов, имеющих Анаг тип АРЭ, при воздействии ФКА. Повышенная степень агрегации эритроцитов ведет к ухудшению оксигенации тканей и может являться лимитирующим фактором для достижения высоких спортивных результатов.

У неспортсменов установлена обратная корреляция минимальных значений АРЭ с числом эритроцитов ($r =$

$-0,36$, $p = 0,01$) и положительная — максимальных значений АРЭ с МСНС ($r = 0,54$, $p = 0,04$) (табл. 2).

Установленные корреляции свидетельствуют о том, что у юношей, не занимающихся спортом, высокое содержание эритроцитов в крови сочетается с возрастанием их агрегационной способности. В то же время средняя концентрация гемоглобина в клетке имеет линейную зависимость с АРЭ: повышение МСНС в крови юношей ведет к повышению агрегационной устойчивости эритроцитов.

4. Обсуждение результатов

Обнаруженное в исследовании повышение числа эритроцитов у юношей, занимающихся спортом, можно рассматривать как результат адаптации к интенсивным физическим нагрузкам в ответ на повышенный запрос организма в кислороде. В то же время увеличение числа эритроцитов, сопровождающееся возрастанием вязкости крови, может способствовать ухудшению ее реологических свойств. Известно, что физические нагрузки могут привести к «спортивной анемии», возникающей, например, у марафонцев из-за внутрисосудистого гемолиза [10, 11]. В частности, снижают негативные последствия активизации красной крови у спортсменов, тренирующих выносливость, более низкие значения гемоглобина и гематокрита за счет увеличения объема

Таблица 1

Корреляционные связи адренореактивности эритроцитов с их суммарными и морфофункциональными характеристиками у юношей, занимающихся спортом

Table 1

Correlation links of adrenergic reactivity of erythrocytes with their total and morphofunctional characteristics in young men going in for sports

	Эритроциты, $10^{12}/л$ / RBC, $10^{12}/л$	Гемоглобин, г/л / HGB, g/l	Гематокрит, % / HCT, %	Средний объем эритроцитов, фл. / MCV, fl	Среднее со- держание гемоглобина в эритроците, пг / MCH, pg	Средняя концентрация гемоглобина в клетке, г/л / MCHC, g/l
АРЭ ср. ФКА, мм/ч / ARE average PCA, mm/h	-0,01	-0,47	-0,32	-0,21	-0,36	-0,27
АРЭ ср. СКА, мм/ч / ARE average SCA, mm/h	0,04	-0,35	-0,17	-0,28	-0,36	-0,31
АРЭ макс. ФКА, мм/ч / ARE max. PCA, mm/h	0,13	-0,33	-0,16	-0,26	-0,48	-0,34
АРЭ мин. ФКА, мм/ч / ARE min. PCA, mm/h	0,02	-0,25	-0,16	-0,21	-0,28	-0,22
Типы АРЭ при ФКА / ARE type PCA	0,12	-0,45	-0,38	-0,51*	-0,47	-0,44
Типы АРЭ при СКА / ARE type SCA	0,02	-0,59*	-0,26	-0,32	-0,55*	-0,35

Примечание: в таблице представлены ранговые корреляции Спирмена (r); * — статистически значимая корреляция, $p < 0,05$.

Note: the table shows Spearman's rank correlations (r); * — statistically significant correlation, $p < 0.05$.

Таблица 2

Корреляционные связи адренореактивности эритроцитов с их суммарными и морфофункциональными характеристиками у юношей, не занимающихся спортом

Table 2

Correlation relationships between erythrocyte adrenergic reactivity and their total and morphofunctional characteristics in young men who do not go in for sports

	Эритроциты, 10 ¹² /л / RBC, 10 ¹² /l	Гемоглобин, г/л / HGB, g/l	Гематокрит, % / HCT, %	Средний объем эритроцитов, фл. / MCV, fl	Среднее содержание гемоглобина в эритроците, пг / MCH, pg	Средняя концентрация гемоглобина в клетке, г/л / MCHC, g/l
APЭ ср. ФКА, мм/ч / ARE average PCA, mm/h	-0,18	-0,08	-0,12	0,05	0,06	0,14
APЭ ср. СКА, мм/ч / ARE average SCA, mm/h	-0,14	0,01	-0,12	0,07	0,11	0,21
APЭ макс. ФКА, мм/ч / ARE max. PCA, mm/h	0,04	0,17	0,02	-0,03	0,11	0,54*
APЭ мин. ФКА, мм/ч / ARE min. PCA, mm/h	-0,37*	-0,21	-0,24	0,15	0,10	-0,13
Типы APЭ при ФКА / ARE type PCA	-0,05	0,01	-0,01	0,02	-0,01	0,12
Типы APЭ при СКА / ARE type SCA	-0,03	0,11	-0,01	0,04	0,11	0,20

Примечание: в таблице представлены ранговые корреляции Спирмена (r); * — статистически значимая корреляция, $p < 0,05$.
Note. the table shows Spearman's rank correlations (r); * — statistically significant correlation, $p < 0.05$.

плазмы на 10–20 % — так называемая анемия разведения. У сверхмарафонцев (56 км) на 6-й день после марафона гематологические свидетельства анемии разведения исчезают [12]. Другим фактором, способным усиливать агрегацию красных клеток крови при повышенных физических нагрузках, является повышение жесткости эритроцитарной мембраны, частично связанное с развитием окислительного стресса и появлением активных форм кислорода [13]. В этой связи приобретают значение компенсаторные реакции, снижающие у спортсменов риск реологических расстройств. К их числу можно отнести изменения корпускулярных и функциональных свойств эритроцитов.

У спортсменов, как показало настоящее исследование, значительно чаще, чем у физически малоактивных юношей, встречается тип APЭ, выражающийся в снижении СОЭ в присутствии адреналина. Такой тип реакции обусловлен, вероятно, инициированной адреналином мобилизацией собственных энергетических резервов эритроцитов и повышением их поверхностного заряда, что можно расценивать как адекватную метаболическую подготовку организма к действующим факторам [7].

О развитии адаптационных процессов при систематических физических нагрузках свидетельствуют и обнаруженные нами корреляционные связи. Так, связи между Ag типом APЭ у спортсменов с корпускулярным объемом

эритроцитов, средней насыщенностью и уровнем гемоглобина в эритроците указывают на то, что более мелкие эритроциты являются более адреностойчивыми. Как отмечал А.В. Муравьев, деформируемость эритроцитов зависит от трех основных факторов: вязко-эластичности мембранного цитоскелета, вязкости цитоплазмы в клетке и соотношения объема и площади поверхности [14]. С этим связана лучшая эффективность движения крови в сосудистом русле и реологическая устойчивость у тренированных лиц, так как у них сочетаются параметры качества и размеров с типом APЭ. В то же время у физически малоактивных юношей изменение морфофункциональных характеристик сопряжено с варьированием количественных показателей крови. При этом возрастание концентрации эритроцитов, повышающее ее вязкость, взаимосвязано с накоплением в циркуляции доли агрегатно неустойчивых эритроцитов, способствующих развитию микроциркуляторных нарушений.

5. Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали, что APЭ является чутким и объективным индикатором адаптационных процессов в крови при интенсивных физических нагрузках. Анализ взаимосвязи адренореактивности эритроцитов с их количественными и качественными характеристиками у лиц с разным уровнем

двигательной активности позволил выявить корреляции повышенной устойчивости мембран эритроцитов к действию катехоламинов у спортсменов с корпускулярными и качественными показателями крови (более мелкими размерами, снижением средней насыщенности и уровня гемоглобина в эритроците). Особенности АРЭ и их корреляций с характеристиками эритроцитов,

Вклад авторов:

Даутова Альбина Зуфаровна — концепция и дизайн исследования; сбор и обработка материала; статистическая обработка.

Исаева Екатерина Евгеньевна — редактирование текста.

Шамратова Валентина Гусмановна — написание текста.

Список литературы

1. Miller G.D., Beharry A., Teramoto M., Lai A., Willick S.E., Eichner D. Hematological changes following an Ironman triathlon: An antidoping perspective. *Drug Test. Anal.* 2019;11(11–12):1747–1754. <https://doi.org/10.1002/dta.2724>
2. Mairbäurl H. Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells. *Front. Physiol.* 2013;12(4):332. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00332>
3. Михайлов П.В., Муравьев А.В., Остроумов Р.С., Муравьев А.А. Возрастные особенности свойств крови у тренированных и нетренированных лиц. Безопасность здоровья человека. 2016;(1):16–29.
4. Голубева М.Г. Стрессогенные нарушения эритроцитов и их коррекция с помощью регуляторных пептидов. Успехи физиологических наук. 2018;(1):3–10.
5. Бушуева Н.А., Воробьева Н.А. Характеристика системы гемостаза при физических нагрузках. Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия Медико-биологические науки. 2015;(2):62–70.
6. Шамратова В.Г., Баширова Р.М., Гареев Е.М. Электрокинетические свойства эритроцитов человека при психоэмоциональном напряжении и патологии. Уфа: Башкирский университет; 1995. 148 с.
7. Матюшичев В.Б., Шамратова В.Г. Регуляция электрокинетических свойств эритроцитов крови человека при действии эмоционального стрессора. Цитология. 2003;45(11):1119–1123.
8. Циркин В.И., Громова М.А., Колгина Д.А., Михайлова В.И., Пленусова Я.К. Оценка адренореактивности эритроцитов, основанная на способности адреналина повышать скорость агглютинации эритроцитов. Фундаментальные исследования. 2008;(7):59–60.
9. Даутова А.З., Хажиева Е.А., Садыкова Л.З., Шамратова В.Г. Морфофункциональные особенности эритроцитов у девушек в зависимости от уровня двигательной активности и наследственного фактора. Человек. Спорт. Медицина. 2020;20(3):25–33. <https://doi.org/10.14529/hsm200303>
10. Parks R.B., Hetzel S.J., Brooks M.A. Iron Deficiency and Anemia among Collegiate Athletes: A Retrospective Chart Review. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2017;49(8):1711–1715. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001259>
11. Голубева М.Г. Влияние физической нагрузки на функциональное состояние мембран эритроцитов. Спортивная медицина: наука и практика. 2020;10(2):55–64. <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.55>

наблюдаемые у спортсменов под влиянием регулярных физических нагрузок, можно рассматривать как проявление процессов, направленных на формирование специфической функциональной системы адаптации и как прогностический критерий для оценки клеточного гомеостаза и функционирования клеток в условиях временного его нарушения при физической нагрузке.

Authors' contributions:

Al'bina Z. Dautova — study concept and design; collection and processing of material; statistical data processing.

Ekaterina E. Isaeva — text editing.

Valentina G. Shamratova — text preparation.

References

1. Miller G.D., Beharry A., Teramoto M., Lai A., Willick S.E., Eichner D. Hematological changes following an Ironman triathlon: An antidoping perspective. *Drug Test. Anal.* 2019;11(11–12):1747–1754. <https://doi.org/10.1002/dta.2724>
2. Mairbäurl H. Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells. *Front. Physiol.* 2013;12(4):332. <https://doi.org/10.3389/fphys.2013.00332>
3. Mikhailov P.V., Muravyov A.V., Ostroumov R.S., Muravyev A.A. Age characteristics of blood properties in trained and untrained individuals. *Bezopasnost' zdorov'ya cheloveka = Security of Human Health.* 2016;(1):16–29 (in Russ.).
4. Golubeva M.G. Stressogenic disorders of erythrocytes and their correction using regulatory peptides. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk = Advances in physiological sciences.* 2018;(1):3–10 (In Russ.).
5. Bushueva N.A., Vorobyeva N.A. Characteristics of the hemostasis system during physical exertion. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya Mediko-biologicheskije nauki = Vestnik of Northern (Arctic) Federal University. Life Sciences Series.* 2015;(2):62–70 (In Russ.).
6. Shamratova V.G., Bashirova R.M., Gareev E.M. Electrokinetic properties of human erythrocytes in psychoemotional stress and pathology. Ufa: Bashkir University; 1995. 148 p. (In Russ.).
7. Matyushichev V.B., Shamratova V.G. Regulation of the electrokinetic properties of human erythrocytes under the influence of an emotional stressor. *Tsitologiya.* 2003;45(11):1119–1123 (In Russ.).
8. Tsirkin V.I., Gromova M.A., Kolgina D.A., Mikhailova V.I., Plenusova Ya.K. Assessment of erythrocyte adrenoreactivity based on the ability of adrenaline to increase the rate of erythrocyte agglutination. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental research.* 2008;(7):59–60 (In Russ.).
9. Dautova A.Z., Khazhieva E.A., Sadykova L.Z., Shamratova V.G. Morphofunctional features of erythrocytes in girls depending on the level of motor activity and hereditary factor. *Chelovek. Sport. Meditsina = Human. Sport. Medicine.* 2020;20(3):25–33 (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/hsm200303>
10. Parks R.B., Hetzel S.J., Brooks M.A. Iron Deficiency and Anemia among Collegiate Athletes: A Retrospective Chart Review. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2017;49(8):1711–1715. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001259>
11. Golubeva M.G. The influence of physical activity on the functional state of erythrocyte membranes. *Sportivnaya meditsina:*

12. Lippi G., Schena F., Salvagno G.L., Aloe R., Banfi G., Guidi G.C. Foot-strike haemolysis after a 60-km ultramarathon. *Blood Transfus.* 2012;10(3):377–383. <https://doi.org/10.2450/2012.0167-11>

13. Medeiros-Lima D.J., Mendes-Ribeiro A.C., Brunini T.M., Martins M.A., Mury W.V., Freire R.A., et al. Erythrocyte nitric oxide availability and oxidative stress following exercise. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2017;65(3):219–228. <https://doi.org/10.3233/CH-16162>

14. Муравьев А.В., Михайлов П.В., Тихомирова И.А. Микроциркуляция и гемореология: точки взаимодействия. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2017;16(2): 90–100. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2017-16-2-90-100>

nauka i praktika = Sports medicine: Research and practice. 2020;10(2):55–64 (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/ISSN2223-2524.2020.2.55>

12. Lippi G., Schena F., Salvagno G.L., Aloe R., Banfi G., Guidi G.C. Foot-strike haemolysis after a 60-km ultramarathon. *Blood Transfus.* 2012;10(3):377–83. <https://doi.org/10.2450/2012.0167-11>

13. Medeiros-Lima D.J., Mendes-Ribeiro A.C., Brunini T.M., Martins M.A., Mury W.V., Freire R.A., et al. Erythrocyte nitric oxide availability and oxidative stress following exercise. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 2017;65(3):219–228. <https://doi.org/10.3233/CH-16162>

14. Muravyov A.V., Mikhailov P.V., Tikhomirova I.A. Microcirculation and hemorheology: points of interaction. Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrotsirkulyatsiya = Regional blood circulation and microcirculation. 2017;16(2):90–100 (In Russ.). <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2017-16-2-90-100>

Информация об авторах:

Даутова Альбина Зуфаровна*, к.б.н., старший преподаватель кафедры медико-биологических дисциплин ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», 420010, Россия, Казань, Деревня Универсиады, 35. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3069-2178> (dautova.az@mail.ru)

Исаева Екатерина Евгеньевна, ассистент кафедры нормальной физиологии ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 450008, Россия, Уфа, ул. Ленина, 3. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4806-257X> (agent373@mail.ru)

Шамратова Валентина Гусмановна, д.б.н., профессор, профессор кафедры нормальной физиологии ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 450008, Россия, Уфа, ул. Ленина, 3. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7633-4264> (shamratovav@mail.ru)

Information about the authors:

Al'bina Z. Dautova*, Ph.D. (Biology), Senior Lecturer of the Department of Biomedical Disciplines of the Volga State University of Physical Culture, Sports and Tourism, 35, Universiade Village, Kazan, 420010, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3069-2178> (dautova.az@mail.ru)

Ekaterina E. Isaeva, Assistant Professot of the Department of Normal Physiology of the Bashkir State Medical University, 3, Lenin str., Ufa, 450008, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4806-257X> (agent373@mail.ru)

Valentina G. Shamratova, D.Sc. (Biology), Professor, Professor of the Department of Normal Physiology of the Bashkir State Medical University, 3, Lenin str., Ufa, 450008, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7633-4264> (shamratovav@mail.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author