

ПОКАЗАТЕЛИ ОБМЕНА ЖЕЛЕЗА У РЕГУЛЯРНЫХ ДОНОРОВ ТРОМБОЦИТОВ И ПЛАЗМЫ КРОВИ

Данилова И.Н.^{*}, Ковтунова М.Е., Назарова Е.Л., Сухорукова Э.Е., Шерстнев Ф.С., Попцов А.Л., Кривокорытова Т.В.

ФГБУН «Кировский научно-исследовательский институт гематологии и переливания крови Федерального медико-биологического агентства», 610027, г. Киров, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Введение. Высокая частота медицинских отводов от донаций из-за снижения концентрации гемоглобина, негативное их влияние на мотивацию и возврат к донорству временно отстраненных лиц диктуют необходимость изучения влияния эксфузий крови и ее компонентов на обмен железа в организме.

Цель: оценить показатели обмена железа у регулярных доноров тромбоцитов и плазмы крови.

Материалы и методы. Обследовано 99 доноров тромбоцитов и 90 доноров плазмы крови, регулярно участвовавших в донациях. Группу сравнения составили 158 здоровых лиц, ранее не сдававших кровь и ее компоненты. Оценили концентрацию гемоглобина, гематокрит, количество эритроцитов и эритроцитарные индексы. Исследовали в сыворотке крови концентрации ферритина, железа, трансферрина, значения общей и ненасыщенной железосвязывающей способности сыворотки, коэффициента насыщения трансферрина.

Результаты. У мужчин, сдававших тромбоциты, установлено статистически значимое снижение количества эритроцитов ($p = 0,001$), величины гематокрита ($p = 0,014$) и концентрации ферритина ($p < 0,001$) относительно таковых в группе сравнения: $4,8 \times 10^{12}/л$, 42,0 %, 28,9 нг/мл против $5,0 \times 10^{12}/л$, 44,0 %, 74,2 нг/мл соответственно. У регулярных доноров отмечено существенное увеличение среднего содержания гемоглобина в эритроцитах: 30,8 пг ($p = 0,008$) и 31,4 пг ($p < 0,001$) у мужчин и 30,2 пг ($p = 0,030$) и 31,0 пг ($p < 0,001$) у женщин с эксфузиями тромбоцитов и плазмы соответственно по сравнению с 29,4 пг у мужчин и 29,6 пг у женщин, впервые участвовавших в донорстве. У доноров плазмы обоих полов значения гемоглобина и средней концентрации его в эритроците оказались достоверно выше, чем у первичных доноров: 154,0 г/л ($p = 0,008$), 35,7 г/дл ($p < 0,001$) и 138,0 г/л ($p < 0,001$), 35,2 г/дл ($p < 0,001$) против 146,0 г/л, 33,6 г/дл и 129,0 г/л, 33,8 г/дл у мужчин и женщин соответственно.

Заключение. Для предотвращения развития дефицита железа у доноров компонентов крови необходимо мониторировать концентрацию сывороточного ферритина и корректировать ее сниженные значения путем изменения режима донаций или назначения железосодержащих препаратов. При отборе доноров необходимо обращать внимание на частоту проводимых аферезов, особенно у мужчин, регулярно сдававших тромбоциты.

Ключевые слова: донорство, тромбоциты, плазма крови, обмен железа, ферритин, транспортное железо

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Данилова И.Н., Ковтунова М.Е., Назарова Е.Л., Сухорукова Э.Е., Шерстнев Ф.С., Попцов А.Л., Кривокорытова Т.В. Показатели обмена железа у регулярных доноров тромбоцитов и плазмы крови. Гематология и трансфузиология. 2024; 69(2):164–177. <https://doi.org/10.35754/0234-5730-2024-69-2-164-177>

INDICATORS OF IRON METABOLISM IN REGULAR DONORS OF BLOOD PLATELETS AND PLASMA

Danilova I.N.^{*}, Kovtunova M.E., Nazarova E.L., Sukhorukova E.E., Sherstnev Ph.S., Poptsov A.L., Krivokorytova T.V.

Federal State Financed Scientific Institution Kirov Research Institute of Hematology and Blood Transfusion under the Federal Medical Biological Agency, 610027, Kirov, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The high frequency of medical withdrawals from donations due to a decrease in hemoglobin levels and the negative impact on the motivation and return to donation of temporarily withdrawn individuals dictates the need to study the effect of exfusion of blood and its components on iron metabolism.

Aim: to evaluate the iron metabolism indicators in regular donors of platelets and plasma.

Materials and methods. 99 platelet donors and 90 blood plasma donors who regularly participated in donations were examined. The comparison group consisted of 158 healthy individuals who had not previously donated blood and its components. Hemoglobin concentration, hematocrit, erythrocyte count and erythrocyte indices were assessed. The concentration levels of ferritin, iron, transferrin in blood serum as well as the values of total and unsaturated iron-binding capacity of serum were studied, and the saturation coefficient of transferrin was calculated.

Results. In men who donated platelets, a statistically significant decrease in the red blood cells count ($p = 0.001$), hematocrit ($p = 0.014$) and ferritin concentration ($p < 0.001$) were found relative to those in the comparison group: $4.8 \times 10^{12}/l$, 42.0 %, 28.9 ng/ml versus $5.0 \times 10^{12}/l$, 44.0 %, 74.2 ng/ml respectively. In regular donors a significant increase in the medium of hemoglobin of red blood cells was noted: 30.8 pg ($p = 0.008$) and 31.4 pg ($p < 0.001$) in men and 30.2 pg ($p = 0.030$) and 31.0 pg ($p < 0.001$) in women with platelet and plasma exfusions respectively compared to 29.4 pg in men and 29.6 pg in women who participated in donation for the first time. In plasma donors of both sexes, the values of hemoglobin and its average concentration in the erythrocyte were significantly higher than in first-time donors: 154.0 g/l ($p = 0.008$), 35.7 g/dl ($p < 0.001$) and 138.0 g/l ($p < 0.001$), 35.2 g/dl ($p < 0.001$) versus 146.0 g/l, 33.6 g/dl and 129.0 g/l, 33.8 g/dl in men and women, respectively.

Conclusion. To prevent the development of iron deficiency in donors of blood components it is necessary to monitor the concentration of serum ferritin and correct its reduced values by changing the donation regimen or prescribing iron-containing drugs. When selecting donors, attention should be paid to the frequency of apheresis, especially in men who regularly donate platelets.

Keywords: donation, platelets, blood plasma, iron metabolism, ferritin, transport iron

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: The study had no sponsorship.

For citation: Danilova I.N., Kovtunova M.E., Nazarova E.L., Sukhorukova E.E., Sherstnev Ph.S., Poptsov A.L., Krivokorytova T.V. Indicators of iron metabolism in regular donors of blood platelets and plasma. Russian Journal of Hematology and Transfusiology (Gematologiya i transfuziologiya). 2024; 69(2):164–177 (in Russian). <https://doi.org/10.35754/0234-5730-2024-69-2-164-177>

Введение

Высокая потребность больных в медицинских учреждениях в концентратах тромбоцитов при оказании им трансфузионной поддержки и реализация концепции увеличения заготовки плазмы крови для производства лекарственных препаратов диктуют необходимость адекватного и стабильного обеспечения этими компо-

нентами крови, что возможно только при сохранении добровольного безвозмездного и регулярного донорства крови и ее компонентов [1–3]. Повторные эксфузии гарантируют инфекционную безопасность заготавливаемых компонентов крови вследствие прохождения донорами клинико-лабораторных обследований.

Неоднократно участвующие в донорстве лица психологически готовы к донации и могут быть легко привлечены к процедуре при возникшей потребности [4–6]. Поэтому сохранение и увеличение числа доноров, сдающих кровь и ее компоненты на постоянной основе, является одной из приоритетных задач службы крови.

Несмотря на доказанную безопасность донаций для здоровья доноров, активное участие в них может приводить к функциональным нарушениям в организме [7]. Многократные эксфузии цельной крови способны повлечь за собой развитие дефицита железа (ДЖ) вследствие его потери в составе гемоглобина [8–10]. Исследований влияния донаций тромбоцитов и плазмы на показатели феррокинетики не так много, а результаты противоречивы. Ранее считалось, что изъятие этих компонентов крови не воздействует на обмен железа в организме. Однако в последнее время появились данные, что частые тромбоцитаферезы и плазмаферезы могут оказывать неблагоприятное влияние на содержание железа, существенно снижая его запасы в организме [11–14]. Предполагают, что потеря микроэлемента при этих эксфузиях связана со взятием крови для лабораторного анализа при каждом обследовании, с ее утратой в системах для афереза, с повреждением эритроцитов, возвращаемых обратно в кровеносное русло, а также с удалением белков плазмы, содержащих этот металл [15, 16]. Хотя такое количество, на первый взгляд, невелико, многократные донации могут приводить к его кумуляции и существенно влиять на обмен железа в организме.

Высокая частота медицинских отводов доноров из-за снижения концентрации гемоглобина, основной причиной которого является развитие ДЖ, а также негативное воздействие этого временного отстранения на мотивацию и возврат к выполнению донорской функции [17, 18] требуют комплексной оценки метаболизма микроэлемента, выявления влияния вида и интенсивности донаций на содержание железа в организме. Установление распространенности ДЖ среди различных категорий доноров и выделение групп риска его развития позволит предупредить у них нарушение обмена железа, своевременно приняв меры по изменению режима донаций или их вида, коррекции недостатка микроэлемента, что имеет важное значение для сохранения здоровья регулярных доноров крови и ее компонентов.

Цель настоящего исследования — оценить показатели обмена железа у регулярных доноров тромбоцитов и плазмы крови.

Материалы и методы

Исследование показателей обмена железа проведено у 99 доноров тромбоцитов и 90 доноров плазмы, регулярно участвовавших в донациях этих гемокомпонентов методом афереза. Группу сравнения сформировали методом случайного отбора, включив в нее 158 первич-

ных доноров — здоровых лиц, впервые обратившихся в донорский пункт и никогда ранее не сдававших кровь и ее компоненты, прошедших медицинское обследование и допущенных к донации. Материалом для лабораторных исследований служила периферическая кровь, полученная при медицинском освидетельствовании. Все обследуемые подписали информированное добровольное согласие на участие в исследовании.

У доноров ретроспективно проанализировали показатели гемограммы, такие как концентрация гемоглобина, значение гематокрита (Ht), количество эритроцитов (RBC), эритроцитарные индексы: средний объем эритроцита (MCV), среднее содержание гемоглобина (MCH) и его среднюю концентрацию (MCHC) в эритроците. Состояние обмена железа оценивали на основании анализа сывороточных концентраций ферритина (СФ) и железа (СЖ), трансферрина (ТФ), ненасыщенной (НЖСС) и общей (ОЖСС) железосвязывающей способности сыворотки и коэффициента насыщения трансферрина (КНТ).

Запасы железа в организме доноров характеризовали по содержанию СФ. Основная часть исследований СФ (70 %) выполнена иммунорадиометрическим методом с использованием тест-систем фирмы «Immunotech» (Чехия) и отечественной радиоиммунохимической установки «Ариан» (фирма «Витако»). Оставшаяся доля (30 %) исследована иммунотурбидиметрическим методом с латексным усилением с наборами фирмы «Roche Diagnostics» (Германия) на автоматическом биохимическом анализаторе «Cobas c311». Оба лабораторных метода, использованных для определения концентрации СФ, имеют сопоставимую точность и эффективность; данные, полученные турбидиметрическими и радиометрическими методами, хорошо коррелируют между собой ($r = 0,984$) [19].

Концентрации СЖ, ТФ, НЖСС определяли с помощью наборов фирмы «Roche Diagnostics» (Германия) и биохимического анализатора «Hitachi-902» методами колориметрического, прямого феррозинового и иммунонефелометрического анализа. Значения ОЖСС и КНТ рассчитывали по общепринятым формулам.

Статистический анализ. Статистическую обработку результатов выполняли с помощью программ Microsoft Excel, IBM SPSS Statistics 26. Соответствие количественных переменных закону нормального распределения оценивали на основании величины критериев Колмогорова — Смирнова и Шапиро — Уилка. Описательный анализ данных включал в себя определение медианы (Me) и интерквартильного размаха ($Q_1 - Q_3$), вычисление абсолютных и относительных частот. Поиск различий количественных переменных с нормальным распределением выполняли методом дисперсионного анализа с использованием при гомоскедастичности F -критерия Фишера, при гетероскедастичности — F -критерия Уэлча, при распределении, отличающемся от нормального, —

с применением *U*-критерия Манна — Уитни и критерия Краскела — Уоллиса с поправкой Бонферрони. Сравнение номинальных переменных осуществляли с помощью χ^2 Пирсона и точного критерия Фишера. Корреляционную связь между параметрами оценивали по коэффициенту ранговой корреляции Спирмена (ρ), характеристику силы связи определяли по шкале Чеддока. Различия между показателями считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

В группе доноров тромбоцитов обследованы 46 мужчин в возрасте от 22 до 60 (Me — 34) лет и 53 женщины в возрасте от 24 до 53 (Me — 40) лет. Донорский стаж у них варьировал от 2 до 26 (Me — 7) лет, количество донаций — от 7 до 159 (Me — 36). Из числа обследованных 33% доноров никогда не сдавали цельную кровь и эритроцитную массу, у 22% в анамнезе была одна донация крови при первичном обращении в донорский пункт. У длительно участвовавших в донорстве лиц (45%) встречались немногочисленные эксфузии цельной крови и плазмы, в основном в начале донорской практики, и осуществлялись не менее чем за 3 года до настоящего исследования. Концентрация гемоглобина у мужчин колебалась в пределах 130,0–168,0 (Me — 145,0) г/л, у женщин — 120,0–153,0 (Me — 131,0) г/л.

В группе доноров плазмы исследование проведено у 45 мужчин в возрасте от 21 до 59 (Me — 38) лет и 45 женщин в возрасте от 29 до 59 (Me — 44) лет. Обследуемые участвовали в заготовке плазмы в течение 3–24 (Me — 11) лет, выполнив от 25 до 252 (Me — 65) донаций. Концентрация гемоглобина у мужчин варьировала в пределах 132,0–179,0 (Me — 154,0) г/л, у женщин — 120,0–154,0 (Me — 138,0) г/л. Количество аферезов, осуществленных за последние 1 и 3 года перед проведением исследования, у доноров тромбоцитов и плазмы было сопоставимо (табл. 1).

Группу сравнения составили 72 мужчины и 86 женщин в возрасте от 18 до 58 (Me — 31 и 27) лет с концентрацией гемоглобина 131,0–167,0 (Me — 146,0) г/л и 120,0–151,0 (Me — 129,0) г/л соответственно. Концентрация гемоглобина у первичных доноров была сопоставима с таковой у сдававших тромбоциты, но достоверно ниже ($p < 0,001$), чем у регулярно участвовавших в плазмаферезе лиц.

Как видно из таблицы 2, сниженные показатели гемограммы встречались редко, за исключением значений гематокрита, уменьшение которых одинаково часто наблюдалось у мужчин и женщин, участвовавших в тромбоцитаферезе и плазмаферезе. Эти изменения в основном носили изолированный характер. Сочетание низких значений, главным образом двух из исследуемых параметров (RBC и Ht, Ht и MCV или MCV и MCH), выявлено у 3 (7,5%), 2 (4,4%) и 2 (3,0%) мужчин и у 2 (4,9%), 3 (6,7%) и 3 (3,8%) женщин — доноров тромбоцитов, плазмы и первичных соответственно. У доноров также отмечены превышающие пороговую величину показатели. Обращала на себя внимание высокая частота выявления повышенных значений MCH у доноров компонентов крови.

При сравнительном анализе параметров эритрограммы установили статистически значимое снижение количества эритроцитов и гематокрита у регулярно сдававших тромбоциты мужчин относительно таковых в группе сравнения. У мужчин — доноров плазмы и у женщин, принимавших участие в тромбоцитаферезе и плазмаферезе, эти параметры были сопоставимы с таковыми у не сдававших компоненты крови. При сравнении эритроцитарных индексов существенных различий значений MCV у повторных и первичных доноров не зарегистрировано, однако выявлено значимое повышение величины MCH у мужчин и женщин обеих групп. У доноров плазмы обеих полов отмечено также достоверное увеличение MCHC.

Таблица 1. Количество донаций у доноров тромбоцитов и плазмы
Table 1. Quantity of donations from platelet and plasma donors

Период наблюдения Observation period	Доноры тромбоцитов Platelet donors		Доноры плазмы Plasma donors	
	Мужчины / Males	Женщины / Females	Мужчины / Males	Женщины / Females
	n = 46	n = 53	n = 45	n = 45
	Количество донаций/Quantity of donations Me (Q ₁ –Q ₃)			
За время донорства Per donor career	34 (23–54)	39 (23–73)	66 (45–79)	65 (41–88)
Последние 3 года From the last 3 years	20 (13–26)	20 (14–25)	20 (15–28)	20 (14–24)
Последний год From the recent year	8 (6–10)	7 (5–9)	8 (6–10)	7 (6–9)

Примечание: n — число наблюдений, Me — медиана, Q₁–Q₃ — квантили (25–75%).

Note: n — number of donors, Me — median, Q₁–Q₃ — quartile (25–75%).

Таблица 2. Показатели эритрограммы у доноров тромбоцитов и плазмы
Table 2. Erythrogram indicators from platelet and plasma donors

Показатель Parameter	Доноры тромбоцитов Platelet donors	Доноры плазмы Plasma donors	Первичные доноры First-time donors	Референсный диапазон Reference range	ρ
Мужчины/Males, Ме (Q ₁ –Q ₃), n (%)					
	n = 40	n = 45	n = 67		
Нб (г/л) Hb (g/l)	145,0 (140,0–151,0) 2 (5,0%) ↑	154,0 (148,0–159,0) 8 (17,8%) ↑	146,0 (141,5–152,0) 5 (7,5%) ↑	130,0–160,0	$p_{1-3} = 0,616$ $p_{2-3} = 0,008^*$ $p_{1-2} = 0,001^*$ ↑ $p = 0,131$
RBC (×10¹²/л) RBC (×10 ¹² /l)	4,8 (4,6–5,0) 8 (20,0%) ↑	4,9 (4,7–5,1) 15 (33,3%) ↑	5,0 (4,8–5,2) 29 (43,3%) ↑	4,0–5,0	$p_{1-3} = 0,001^*$ $p_{2-3} = 0,051$ $p_{1-2} = 0,402$ ↑ $p_{1-3} = 0,043^*$
Нт (%)	42,0 (41,0–43,7) 5 (12,5%) ↓	43,0 (41,6–45,0) 6 (13,3%) ↓, 2 (4,4%) ↑	44,0 (42,0–45,0) 1 (1,5%) ↓	40,0–48,0	$p_{1-3} = 0,014^*$ $p_{2-3} = 0,312$ $p_{1-2} = 0,394$ ↓ $p_{1-3} = 0,025$
MCV (фл) MCV (fl)	89,2 (85,9–92,4) 1 (2,5%) ↓, 1 (2,5%) ↑	88,5 (84,7–91,7) 2 (4,4%) ↓, 2 (4,4%) ↑	87,5 (84,6–89,5) 2 (3,0%) ↓	80,0–100,0	$p = 0,059$ ↓ $p = 0,480$
MCH (пг) MCH (pg)	30,8 (29,0–31,8) 1 (2,5%) ↓, 15 (37,5%) ↑	31,4 (30,3–32,8) 1 (2,2%) ↓, 26 (57,8%) ↑	29,4 (28,5–30,4) 6 (9,0%) ↓, 12 (17,9%) ↑	27,0–31,0	$p_{1-3} = 0,008^*$ $p_{2-3} < 0,001^*$ $p_{1-2} = 0,136$ ↑ $p_{1-3} = 0,036^*$ ↑ $p_{2-3} < 0,001^*$
MCHC (г/дл) MCHC (g/dl)	34,4 (33,6–35,1) 1 (2,5%) ↑	35,7 (34,9–36,7) 1 (2,2%) ↑	33,6 (32,8–34,7)	30,0–38,0	$p_{1-3} = 0,083$ $p_{2-3} < 0,001^*$ $p_{1-2} = 0,001^*$
Женщины/Females, Ме (Q ₁ –Q ₃), n (%)					
	n = 41	n = 45	n = 78		
Нб (г/л) Hb (g/l)	131,0 (126,0–137,0) 6 (14,6%) ↑	138,0 (132,0–142,0) 13 (28,9%) ↑	129,0 (125,0–134,0) 5 (6,4%) ↑	120,0–140,0	$p_{1-3} = 0,460$ $p_{2-3} < 0,001^*$ $p_{1-2} = 0,002^*$ ↑ $p_{2-3} = 0,002^*$
RBC (×10¹²/л) RBC (×10 ¹² /l)	4,3 (4,1–4,6) 2 (4,9%) ↓, 7 (17,1%) ↑	4,5 (4,2–4,6) 2 (4,4%) ↓, 6 (13,3%) ↑	4,4 (4,2–4,6) 1 (1,3%) ↓, 8 (10,3%) ↑	3,8–4,7	$p = 0,321$ ↑↓ $p = 0,484$
Нт (%)	38,0 (37,0–40,0) 5 (12,2%) ↓, 1 (2,4%) ↑	38,8 (37,6–40,3) 6 (13,3%) ↓, 3 (6,7%) ↑	38,0 (37,0–40,0)	36,0–42,0	$p = 0,415$
MCV (фл) MCV (fl)	88,4 (85,7–92,7) 2 (4,9%) ↓	87,5 (85,1–91,7) 3 (6,7%) ↓, 1 (2,2%) ↑	87,2 (84,1–90,5) 4 (5,1%) ↓	80,0–100,0	$p = 0,217$ ↓ $p = 0,741$
MCH (пг) MCH (pg)	30,2 (29,4–31,7) 1 (2,4%) ↓, 16 (39,0%) ↑	31,0 (30,1–32,6) 22 (48,9%) ↑	29,6 (28,0–30,7) 7 (9,0%) ↓, 15 (19,2%) ↑	27,0–31,0	$p_{1-3} = 0,030^*$ $p_{2-3} < 0,001^*$ $p_{1-2} = 0,259$ ↑ $p_{1-3} = 0,029^*$ ↑ $p_{2-3} = 0,002^*$

Таблица 2. Продолжение
Table 2. Continuation

Показатель Parameter	Доноры тромбоцитов Platelet donors	Доноры плазмы Plasma donors	Первичные доноры First-time donors	Референсный диапазон Reference range	p
МСНС (г/дл) MCHC (g/dl)	34,0 (33,3–35,0) 1 (2,4%) ↑	35,2 (34,9–35,8) 3 (6,7%) ↑	33,8 (33,1–34,7)	30,0–38,0	$p_{1-3} = 0,590$ $p_{2-3} < 0,001^*$ $p_{1-2} < 0,001^*$

Примечание: Hb — концентрация гемоглобина, RBC — количество эритроцитов, Ht — гематокрит, MCV — средний объем эритроцита, MCH — среднее содержание гемоглобина в эритроците, МСНС — средняя концентрация гемоглобина в эритроците, p_{1-3} — достоверность различий показателя в группах доноров тромбоцитов и первичных доноров, p_{2-3} — в группах доноров плазмы и первичных доноров, p_{1-2} — в группах доноров тромбоцитов и плазмы, * — различия показателя статистически значимы ($p < 0,05$), ↑ — повышенные значения показателя, ↓ — сниженные значения показателя.

Note: Hb — hemoglobin concentration, RBC — red blood cell count, Ht — hematocrit, MCV — mean corpuscular volume, MCH — mean corpuscular hemoglobin, MCHC — mean corpuscular hemoglobin concentration, p_{1-3} — reliability of differences in the indicator in the groups of platelet donors and primary donors, p_{2-3} — in the groups of plasma donors and first-time donors, p_{1-2} — in the groups of platelet and plasma donors, * — the differences in the indicator are statistically significant ($p < 0,05$), ↑ — low values of the indicator, ↓ — high values of the indicator.

Интервал референсных значений СФ, установленный с помощью иммунорадиометрического метода, у мужчин составлял 30,0–237,1 ($133,6 \pm 5,8$) нг/мл, у женщин — 15,0–90,5 ($52,8 \pm 2,3$) нг/мл. Диапазон, рекомендуемый в инструкции к набору реагентов, предназначенному для иммунотурбидиметрического определения концентрации СФ: 30,0–400 и 15,0–150 нг/мл соответственно. У регулярных доноров тромбоцитов значения СФ варьировали от 7,1 до 131,1 и от 2,8 до 85,1 нг/мл, у лиц, сдававших плазму, — от 6,9 до 283,7 и от 6,1 до 238,9 нг/мл у мужчин и женщин соответственно. У мужчин, впервые участвовавших в донациях, концентрация СФ изменялась от 8,8 до 352,6 нг/мл, у женщин — от 6,6 до 162,2 нг/мл. Результаты исследования концентрации СФ у регулярных доноров тромбоцитов и плазмы представлены в таблице 3.

В обследуемых группах доноров при сравнении значений СФ у мужчин и женщин установлены статистически значимые различия показателя при донациях плазмы ($p < 0,001$), что сопоставимо с данными первичных доноров и подтверждает сведения о зависимости содержания депонированного железа от гендерной принадлежности при минимальных потерях этого микроэлемента. Концентрации СФ у мужчин и женщин, сдававших тромбоциты, достоверно не различались.

При сравнительном анализе содержания СФ в зависимости от вида донаций выявили существенное снижение его значений только у регулярно участвовавших в тромбоцитаферезе мужчин в 2,6 раза в сопоставлении с таковыми у первичных доноров. Концентрации СФ у доноров плазмы и в группе сравнения не имели существенных различий, но достоверно превышали их у сдававших тромбоциты лиц: в 2,2 раза у мужчин и в 1,4 раза у женщин.

При оценке частоты выявления отклонений значений СФ от референсного интервала в зависимости от вида донаций получили значимые различия у мужчин — доноров тромбоцитов в сопоставлении с таковой у доноров плазмы и в группе сравнения. Сниженные кон-

центрации СФ у них определялись в 52,2% случаев, что в 3,1 и 4,7 раза чаще, чем у первичных и сдававших плазму доноров соответственно. У женщин выявляемость низких концентраций СФ в выделенных группах достоверно не отличалась, но преобладала у доноров тромбоцитов, составив 34% наблюдений. В группе сдававших плазму, помимо низких, зарегистрированы повышенные значения СФ — у 4,4% мужчин и 13,3% женщин. Увеличенное содержание СФ встречалось также у доноров группы сравнения — у 4,2% мужчин и 8,1% женщин.

У части обследуемых, кроме оценки концентрации СФ, исследовали показатели транспортного железа (табл. 3). При сравнительном анализе не выявили статистически значимых различий их значений у доноров разных групп. При расчете и сопоставлении КНТ у обследуемых установлено достоверное его увеличение у мужчин — доноров плазмы по сравнению с таковым у первичных доноров. Отклонения значений изучаемых параметров от референсного интервала отмечены как в сторону снижения, так и повышения.

Низкое содержание СЖ у доноров, регулярно участвовавших в процедурах афереза, зарегистрировано только у мужчин. У доноров также отмечены повышенные концентрации СЖ, у мужчин они превалировали над сниженными и выявлялись достоверно чаще у доноров тромбоцитов и плазмы, чем у первичных. У сдававших тромбоциты мужчин в единичных случаях встречались не связанные с изменением других параметров повышения значений ТФ и ОЖСС. В одном (3,3%) наблюдении увеличение НЖСС сочеталось с низким содержанием СЖ. Сочетанное изменение показателей транспортного железа, характерное для ДЖ, установлено у 2 (5,0%) женщин, участвовавших в тромбоцитаферезах. У доноров плазмы, как у мужчин, так и у женщин, отмечены изолированные отклонения изучаемых параметров.

В сопоставлении с концентрацией СЖ ТФ и его насыщение железом являются более стабильными

Таблица 3. Показатели обмена железа у доноров тромбоцитов и плазмы
Table 3. Indicators of iron metabolism in platelet and plasma donors

Показатель <i>Parameter</i>	Доноры тромбоцитов <i>Platelet donors</i>	Доноры плазмы <i>Plasma donors</i>	Первичные доноры <i>First-time donors</i>	Референсный диапазон <i>Reference range</i>	<i>p</i>
Мужчины/ <i>Males, Me (Q1–Q3), n (%)</i>					
Запасы железа <i>Iron stores</i>	<i>n</i> = 46	<i>n</i> = 45	<i>n</i> = 72		
СФ (нг/мл) <i>SF (ng/ml)</i>	28,9 (16,8–52,0) 24 (52,2%) ↓	63,7 (40,6–128,8) 5 (11,1%) ↓, 2 (4,4%) ↑	74,2 (41,2–128,5) 12 (16,7%) ↓, 3 (4,2%) ↑	30,0–237,1	$p_{1-3} < 0,001^*$ $p_{2-3} = 1,000$ $p_{1-2} < 0,001^*$ $\downarrow p_{1-2} < 0,001^*$ $\downarrow p_{1-3} < 0,001^*$
Транспортное железо <i>Transport iron</i>	<i>n</i> = 30	<i>n</i> = 30	<i>n</i> = 57		
СЖ (мкмоль/л) <i>SI (μmol/l)</i>	20,9 (14,5–26,4) 3 (10,0%) ↓, 6 (20,0%) ↑	19,3 (15,0–27,5) 1 (3,3%) ↓, 7 (23,3%) ↑	18,5 (14,0–20,9) 4 (7,0%) ↓, 2 (3,5%) ↑	10,6–28,3	$p = 0,115$ $\uparrow p_{1-3} = 0,017^*$ $\uparrow p_{2-3} = 0,012^*$
ТФ (г/л) <i>TF (g/l)</i>	2,7 (2,4–3,0) 1 (3,3%) ↑	2,6 (2,3–3,0) 4 (13,3%) ↓	2,8 (2,5–3,0)	2,0–3,6	$p = 0,190$
ОЖСС (мкмоль/л) <i>TIBC (μmol/l)</i>	60,5 (57,1–67,8) 1 (3,3%) ↑	60,2 (53,4–69,3) 2 (6,7%) ↑, 2 (6,7%) ↓	57,7 (52,3–63,8) 1 (1,8%) ↑, 1 (1,8%) ↓	40,8–76,6	$p = 0,205$ $\uparrow p = 0,275$
НЖСС (мкмоль/л) <i>UIBC (μmol/l)</i>	38,5 (33,1–46,9) 1 (3,3%) ↑, 2 (6,7%) ↓	38,1 (31,9–50,1) 2 (6,7%) ↓	39,4 (33,6–46,2) 1 (1,8%) ↑, 1 (1,8%) ↓	19,7–66,2	$p = 0,946$ $\downarrow p = 0,496$
КНТ (%) <i>TSI (%)</i>	32,1 (18,9–37,6) 8 (26,7%) ↓, 4 (13,3%) ↑	32,0 (23,1–44,3) 3 (10,0%) ↓, 6 (20,0%) ↑	26,3 (20,3–31,0) 12 (21,1%) ↓, 1 (1,8%) ↑	20,0–50,0	$p_{1-3} = 0,230$ $p_{2-3} = 0,034^*$ $p_{1-2} = 1,000$ $\uparrow p_{1-3} = 0,041^*$ $\uparrow p_{2-3} = 0,009^*$
Женщины/ <i>Females, Me (Q1–Q3), n (%)</i>					
Запасы железа <i>Iron stores</i>	<i>n</i> = 53	<i>n</i> = 45	<i>n</i> = 86		
СФ (нг/мл) <i>SF (ng/ml)</i>	27,6 (12,5–39,3) 18 (34,0%) ↓	37,5 (17,7–67,7) 9 (20,0%) ↓, 6 (13,3%) ↑	28,4 (15,0–47,1) 21 (24,4%) ↓, 7 (8,1%) ↑	15,0–90,5	$p_{1-3} = 0,806$ $p_{2-3} = 0,139$ $p_{1-2} = 0,017^*$ $\downarrow p = 0,260$
Транспортное железо <i>Transport iron</i>	<i>n</i> = 40	<i>n</i> = 30	<i>n</i> = 66		
СЖ (мкмоль/л) <i>SI (μmol/l)</i>	16,8 (11,8–21,4) 5 (12,5%) ↑	17,2 (12,8–20,9) 3 (10%) ↑	15,7 (11,4–20,7) 3 (4,5%) ↓, 8 (12,1%) ↑	6,6–26,0	$p = 0,557$ $\uparrow p = 0,726$
ТФ (г/л) <i>TF (g/l)</i>	2,8 (2,5–3,1) 1 (2,5%) ↑	2,7 (2,4–3,0) 2 (6,7%) ↑, 1 (3,3%) ↓	2,9 (2,5–3,2) 1 (1,5%) ↑	2,0–3,6	$p = 0,383$ $\uparrow p = 0,172$
ОЖСС (мкмоль/л) <i>TIBC (μmol/l)</i>	60,9 (54,6–69,1) 3 (7,5%) ↑	59,4 (54,4–66,2) 2 (6,7%) ↑	62,3 (52,9–68,0) 6 (9,1%) ↑, 1 (1,5%) ↓	40,8–76,6	$p = 0,864$ $\uparrow p = 1,000$

Таблица 3. Продолжение
Table 3. Continuation

Показатель Parameter	Доноры тромбоцитов Platelet donors	Доноры плазмы Plasma donors	Первичные доноры First-time donors	Референсный диапазон Reference range	P
НЖСС (мкмоль/л) UIBC (μmol/l)	42,5 (32,1–53,4) 2 (5%) ↑, 1 (2,5%) ↓	41,8 (38,4–47,5) 1 (3,3%) ↑, 1 (3,3%) ↓	43,7 (37,2–54,5) 4 (6,1%) ↑, 3 (4,5%) ↓	19,7–66,2	$p = 0,658$ ↑ $p = 1,000$
КНТ (%) TSI (%)	24,1 (18,1–34,6) 11 (27,5%) ↓, 3 (7,5%) ↑	25,9 (19,6–29,8) 8 (26,7%) ↓	22,4 (15,8–29,1) 26 (39,4%) ↓, 3 (4,5%) ↑	20,0–50,0	$p = 0,280$ ↓ $p = 0,338$

Примечание: СФ — сывороточный ферритин, СЖ — сывороточное железо, ТФ — трансферрин, ОЖСС — общая железосвязывающая способность сыворотки, НЖСС — ненасыщенная железосвязывающая способность сыворотки, КНТ — коэффициент насыщения трансферрина.

Note: SF — serum ferritin, SI — serum iron, TF — transferrin, TIBC — total iron-binding capacity, UIBC — unsaturated iron-binding capacity, TSI — transferrin saturation index.

величинами. В норме КНТ у взрослых составляет 20–50%. При сравнении значений КНТ статистически значимого их снижения в наблюдаемых группах не выявили. В то же время уменьшение показателя у обследованных регистрировали часто, в 4 (11,4%) из 35 наблюдений оно сочеталось с низкой концентрацией СЖ, в 2 (5,7%) из 35 — с одновременным увеличением НЖСС и ОЖСС. Отмеченные у доноров высокие значения КНТ достоверно чаще встречались у регулярно сдававших компоненты крови мужчин. Повышение КНТ в 14 (82,4%) из 17 случаев было связано с увеличенной концентрацией СЖ, в 9 (64,3%), в 1 (7,1%) и в 1 (7,1%) из них сопровождалось снижением значений НЖСС, ОЖСС и ТФ соответственно.

Сопоставили значения КНТ с концентрацией СФ. В 30 (43,5%) из 69 наблюдений низкая его величина соответствовала сниженному содержанию СФ: в 21 (55,3%) из 38 — у женщин и в 9 (29,0%) из 31 — у мужчин. У 128 (71,9%) из 178 доноров зарегистрировано сочетание нормальных значений КНТ и СФ. Между концентрациями СФ и КНТ установлена статистически значимая прямая корреляционная связь ($\rho = 0,280$; $p < 0,001$) слабой силы по шкале Чеддока ($\rho < 0,3$). При разделении обследуемых на гендерные группы взаимосвязь сопоставляемых показателей у мужчин оказалась статистически не значима ($\rho = 0,363$), у женщин выявлена умеренная корреляция ($\rho = 0,368$; $p < 0,001$).

Были оценены изменения значений параметров обмена железа у доноров тромбоцитов и плазмы в зависимости от интенсивности донаций. При корреляционном анализе выявили статистически значимую прямую взаимосвязь частоты донаций со значениями МСН ($\rho = 0,419$; $p < 0,001$ и $\rho = 0,298$; $p = 0,001$) и МСНС ($\rho = 0,512$; $p < 0,001$ и $\rho = 0,435$; $p < 0,001$) у мужчин и женщин соответственно и с содержанием гемоглобина ($\rho = 0,375$; $p < 0,001$) у женщин, обратную — с концентрацией СФ ($\rho = -0,307$; $p = 0,001$), количеством эритроцитов ($\rho = -0,293$; $p = 0,002$) и гематокрита ($\rho = -0,240$; $p = 0,011$) у мужчин.

Для оценки влияния интенсивности донаций на показатели феррокинетики обследованных распределили на 2 группы по количеству эксфузий за последние 12 месяцев: 1 — редко сдававших компоненты крови (не более 6 раз), 2 — с частыми донациями (от 7 и более). Полученные в группах доноров данные сопоставили между собой (табл. 4).

При сравнении параметров в группах доноров тромбоцитов и плазмы с разной частотой донаций статистическая значимость их различий не достигнута. Однако у мужчин, сдававших тромбоциты до 6 раз в год, выявлено двукратное уменьшение концентрации СФ, с более частыми донациями — четырехкратное. Кроме этого, при интенсивных тромбоцитаферезах у мужчин отмечено значительное уменьшение количества эритроцитов, гематокрита и увеличение значений ОЖСС по сравнению с данными первичных доноров. Статистически значимо высокие показатели МСН сохранялись у мужчин, сдававших плазму, независимо от частоты донаций, у женщин — с частыми эксфузиями плазмы. Величина МСНС была значительно выше у доноров плазмы в обеих гендерных группах как при низкой, так и высокой интенсивности аферезов, чем в группе сравнения. Отмечено, что концентрация гемоглобина у сдававших плазму женщин была повышена в обеих группах, у мужчин — при высокой частоте донаций. Достоверных различий остальных параметров в представленных группах не установлено ($p > 0,05$). У женщин, с разной частотой участвовавших в тромбоцитаферезе, все показатели сопоставимы с таковыми в группе сравнения.

Обсуждение

При диагностике железодефицитных состояний ориентируются не только на концентрацию гемоглобина, но и на изменения таких лабораторных показателей общего анализа крови, как Ht, MCV, MCH и MCHC. При манифестации ДЖ значения этих маркеров снижены, при латентной стадии — обычно находятся в норме, так как развитие ДЖ происходит

Таблица 4. Изменения показателей эритрограммы и обмена железа у доноров тромбоцитов и плазмы в зависимости от частоты донаций
Table 4. Changes in erythrogram parameters and iron metabolism in platelet and plasma donors depending on the frequency of donations

Показатель Parameter	С частотой ≤6 донаций With a frequency of ≤6 donations	С частотой >6 донаций With a frequency of >6 donations	Первичные доноры First-time donors	Р
Мужчины — доноры тромбоцитов/Males — platelet donors, Ме (Q₁–Q₂)				
	n = 17	n = 23	n = 67	
РВС (×10¹²/л) RBC (×10 ¹² /l)	4,9 (4,4–5,1)	4,8 (4,6–4,9)	5,0 (4,8–5,2)	p ₁₋₂ = 1,000 p ₁₋₃ = 0,129 p ₂₋₃ = 0,003*
Нт (%)	42,0 (40,0–44,0)	42,0 (41,5–43,0)	44,0 (42,0–45,0)	p ₁₋₂ = 1,000 p ₁₋₃ = 0,075 p ₂₋₃ = 0,024*
СФ (нг/мл) SF (ng/ml)	35,7 (28,5–64,5)	17,9 (15,0–36,7)	74,2 (39,4–129,0)	p ₁₋₂ = 0,164 p ₁₋₃ = 0,044* p ₂₋₃ < 0,001*
ОЖСС (мкмоль/л) TIBC (μmol/l)	57,9 (52,1–62,9)	65,6 (59,0–69,7)	57,7 (52,3–64,0)	p ₁₋₂ = 0,090 p ₁₋₃ = 1,000 p ₂₋₃ = 0,024*
Мужчины — доноры плазмы/Males — plasma donors, Ме (Q₁–Q₂)				
	n = 14	n = 31	n = 67	
Нб (г/л) Hb (g/l)	154,0 (151,0–158,0)	153,0 (147,0–159,5)	146,0 (141,5–152,0)	p ₁₋₂ = 1,000 p ₁₋₃ = 0,069 p ₂₋₃ = 0,016*
МСН (пг) MCH (pg)	31,5 (31,1–32,8)	31,0 (29,7–32,7)	29,4 (28,5–30,4)	p ₁₋₂ = 0,884 p ₁₋₃ < 0,001* p ₂₋₃ < 0,001*
МСНС (г/дл) MCHC (g/dl)	35,7 (35,2–36,2)	35,8 (34,8–36,9)	33,6 (32,8–34,7)	p ₁₋₂ = 1,000 p ₁₋₃ < 0,001* p ₂₋₃ < 0,001*
Женщины — доноры плазмы/Females — plasma donors, Ме (Q₁–Q₂)				
	n = 13	n = 32	n = 78	
Нб (г/л) Hb (g/l)	136,0 (132,0–140,0)	138,0 (132,5–144,0)	129,0 (125,0–134,0)	p ₁₋₂ = 1,000 p ₁₋₃ = 0,010* p ₂₋₃ < 0,001*
МСН (пг) MCH (pg)	30,1 (29,6–31,2)	31,5 (30,2–32,7)	29,6 (28,0–30,7)	p ₁₋₂ = 0,540 p ₁₋₃ = 0,249 p ₂₋₃ < 0,001*
МСНС (г/дл) MCHC (g/dl)	35,0 (34,6–35,8)	35,3 (35,0–35,6)	33,8 (33,1–34,7)	p ₁₋₂ = 1,000 p ₁₋₃ = 0,002* p ₂₋₃ < 0,001*

Примечание: p₁₋₂ — достоверность различий показателя в группах доноров с частотой ≤6 и >6 донаций, p₁₋₃ — с частотой ≤6 донаций и первичных доноров, p₂₋₃ — с частотой >6 донаций и первичных доноров.

Note: p₁₋₂ — reliability of differences in the indicator in groups of donors with frequencies ≤6 and >6 of donations, p₁₋₃ — with a frequency of ≤6 donations and first-time donors, p₂₋₃ — with a frequency of >6 donations and first-time donors.

последовательно: сначала истощаются запасы микроэлемента в организме, затем нарушается его транспорт, в последнюю очередь ограничивается синтез гемоглобина и, следовательно, изменяются морфофункциональные характеристики эритроцитов [20].
Согласно представленным в литературе данным [21–23], потеря крови при тромбоцитаферезе, связанная с ее взятием для лабораторных исследований, утратой в системе для афереза, составляет 80–100 мл за проце-

дуру. При регулярных донациях, например каждые 30 дней, она может достигать около 1200 мл в год, что соответствует примерно 2–3 эксфузиям цельной крови. Теоретически примерно такой же объем утрачивается при плазмаферезе. Потеря гемоглобинового железа вследствие частых донаций может привести к снижению, а впоследствии — к истощению запасов микроэлемента, что, в свою очередь, может вызвать нарушение его транспортного пула, уменьшение синтеза

гемоглобина и изменение морфофункциональных характеристик эритроцитов.

Исследование показателей обмена железа проводили до осуществления процедур афереза, оценивая таким образом отсроченный эффект их регулярного воздействия. Обследованные были допущены к эксфузиям крови и ее компонентов и имели нормальную концентрацию гемоглобина в крови. Преимущественно показатели гемограммы у доноров не выходили за пределы нижней границы нормы, сочетанное снижение их значений встречалось редко. В то же время при сопоставлении параметров в разных группах доноров обнаружены статистически значимые различия. У мужчин, участвовавших в тромбоцитаферезе, установлено достоверное уменьшение содержания эритроцитов и гематокрита относительно таковых в группе сравнения. При распределении доноров на группы по частоте донаций изменение этих показателей наблюдалось у лиц, которым осуществляли более 6 эксфузий тромбоцитов в год. В литературе встречаются противоречивые данные о воздействии тромбоцитафереза на гематологические параметры: одни свидетельствуют о негативном влиянии на содержание гемоглобина, эритроцитов и гематокрит у доноров [24], другие демонстрируют статистически значимое увеличение этих параметров [11, 25], третьи показывают отсутствие изменений показателей гемограммы даже при наиболее интенсивном проведении этих процедур [26].

Отмеченные более высокие, чем в группе сравнения, значения МСН у всех повторных доноров и МСНС у сдававших плазму, возможно, объясняются компенсаторно-адаптивными реакциями в ответ на регулярное воздействие донаций. В литературе представлены данные о снижении этих показателей при манифестном ДЖ [20], когда уменьшается синтез гемоглобина и, следовательно, его содержание в эритроцитах. Однако имеются сведения о существенном повышении значений МСНС, обусловленное увеличением количества легких фракций эритроцитов, у активных доноров с нормальной концентрацией гемоглобина по сравнению с таковыми у не участвовавших в донорстве лиц [27]. В настоящем исследовании концентрация гемоглобина у доноров плазмы была статистически значимо выше, чем у сдававших тромбоциты и первичных доноров. Имеются единичные описания [28] увеличения значений гемоглобина и гематокрита у доноров сразу после проведения плазмафереза, возвращавшиеся к норме в течение суток после процедуры. Нельзя исключать и возможное механическое повреждение мембраны эритроцитов при проведении афереза, вследствие чего может происходить преждевременный гемолиз этих клеток и выход гемоглобина в кровоток.

Наиболее значимым и рекомендуемым для мониторинга показателем обмена железа считают концентрацию СФ, у здоровых лиц она положительно коррелирует с размером общих запасов железа в организме.

Низкие значения СФ являются самым чувствительным и специфичным маркером сидеропении. Однако следует принимать во внимание природу этого протеина — при воспалительных, опухолевых и деструктивных процессах его продукция увеличивается [20]. По результатам медицинского обследования доноры являются здоровыми лицами (без острых и хронических инфекционно-воспалительных заболеваний), вероятность повышения ферритина как белка острой фазы у них крайне низка. Необходимо учитывать, что концентрации СФ имеют различия по гендерному признаку.

По рекомендациям ВОЗ [29], значения СФ менее 15 мкг/л, независимо от гендерной принадлежности, указывают на истощение запасов железа в организме и необходимость его коррекции. Однако, по мнению некоторых авторов [30–32], этот порог искусственно занижен, и критерием ДЖ необходимо считать концентрацию СФ менее 30 мкг/л, что обеспечивает более высокую чувствительность (92%) и специфичность (98%) при диагностике ДЖ. Для выявления ДЖ у доноров ориентировались на референсные значения, установленные для населения Кировской области с учетом гендерных различий показателя, нижняя граница которых соответствовала рекомендуемым производителями иммунохимических тестов.

Проведенное исследование показывает, что доноры тромбоцитов наиболее подвержены развитию латентного ДЖ, что подтверждается высокой частотой выявления у них сниженных концентраций СФ. У мужчин этот показатель и количество низких его значений статистически значимо отличались от таковых у первичных доноров и доноров плазмы. При оценке параметров обмена железа в зависимости от интенсивности тромбоцитаферезов обнаружили двукратное снижение концентрации СФ у сдававших тромбоциты до 6 раз в год и четырехкратное — при более частых эксфузиях. В группах женщин достоверного изменения концентраций СФ не наблюдалось, что, вероятно, объясняется изначально сниженным содержанием железа в депо вследствие физиологических особенностей их организма и большей адаптивной способностью при кровопотерях.

Вариабельность параметров транспортного железа делает малоинформативным их исследование у доноров компонентов крови. Концентрация СЖ нестабильна и зависит от времени суток, приема пищи, стресса, физических нагрузок и т.д. [20, 33]. При оценке результатов целесообразно учитывать, что, например, рекомендуемый перед донацией завтрак, вероятно, может повлиять на оцениваемые показатели, исказить содержание СЖ и, соответственно, ОЖСС и КНТ.

Высокий риск развития ДЖ у доноров тромбоцитов, возможно, обусловлен связью тромбоцитопоза с мета-

болизмом железа, которая в настоящее время до конца не изучена. Имеются публикации, посвященные исследованию роли этого микроэлемента в дифференциации клеток мегакариоцитарной линии [34]. Известно об увеличении продукции тромбоцитов при железодефицитных состояниях, носящее обратимый характер при медикаментозном восполнении микроэлемента в организме [17, 35, 36]. Кроме того, показана достоверная обратная связь количества этих клеток и концентрации СФ [37]. Учитывая, что предпочтительными для донаций тромбоцитов являются доноры с более высоким их содержанием, не исключено, что активное участие в тромбоцитаферезах может еще больше ухудшить феррокинетику в организме.

Литература

1. WHO. Action framework to advance universal access to safe, effective and quality assured blood products 2020–2023. 2020. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240000384>
2. Уйба В.В., Эйхлер О.В., Чечеткин А.В., Данильченко В.В. Развитие безвозмездного добровольного донорства крови и ее компонентов в Российской Федерации. Медицина экстремальных ситуаций. 2017; 59(1): 8–13.
3. Распоряжение Правительства РФ от 9 февраля 2023 г. № 291-р «Об утверждении Концепции увеличения заготовки плазмы крови для производства лекарственных препаратов учреждениями Службы крови ФМБА и субъектов РФ на период до 2030 г. и плана мероприятий («дорожной карты») по увеличению заготовки плазмы крови для производства лекарственных препаратов учреждениями Службы крови ФМБА и субъектов РФ».
4. Рогачевский О.В., Жибурт Е.Б., Чемоданов И.Г., Моисеев С.В. Железодефицитная анемия у доноров крови. Клиническая фармакология и терапия. 2018; 27(3): 4–9.
5. Гапонова Т.В., Хрущев С.О., Выборных Д.Э. и др. Доноры крови: социально-демографические и психологические характеристики (по данным исследования доноров ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр гематологии» Минздрава России). Гематология и трансфузиология. 2018; 63(4): 325–33. DOI: 10.25837/HAT.2019.64.27.001.
6. Стефанюк Е.И., Дорунова Н.В., Вершинина Н.В. Актуальные проблемы развития донорства крови и ее компонентов в России. ЛитРес: Самиздат, 2021. 24 с. <https://www.litres.ru/elena-ivanovna-stefa/aktualnye-problemy-razvitiya-donorstva-krovi-i-ee-kom/>.
7. Матрохина О.И., Зайцева Г.А., Платонова Г.К. и др. Комплексная оценка некоторых функциональных показателей доноров, награжденных нагрудным знаком «Почетный донор России». Трансфузиология. 2015; 16(3): 37–46.
8. Чечеткин А.В., Данильченко В.В., Плоцкий Р.А. Проблема железодефицита у доноров крови и пути ее решения. Трансфузиология. 2020; 21(2): 129–45.
9. Kiss J.E., Vassallo R.R. How do we manage iron deficiency after blood donation? Br J Haematol. 2018; 181(5): 590–603. DOI: 10.1111/bjh.15136.
10. Vinkenoog M., van den Hurk K., van Kraaij M., et al. First results of a ferritin-based blood donor deferral policy in the Netherlands. Transfusion. 2020; 60(8): 1785–1792. DOI: 10.1111/trf.15906.
11. Li H., Condon F., Kessler D., et al. Evidence of relative iron deficiency in platelet- and plasma-pheresis donors correlates with donation frequency. J Clin Apher. 2016; 31(6): 551–8. DOI: 10.1002/jca.21448.

Таким образом, высокая частота выявления сниженных значений СФ, указывающих на развитие латентного ДЖ у доноров, особенно регулярно сдававших тромбоциты, должна привлечь внимание трансфузиологов с целью более углубленной оценки состояния их здоровья. Важно проводить мониторинг концентрации СФ при активном участии в донорстве и, в случае снижения его значений, предусмотреть коррекцию препаратами железа либо изменение режима или вида донаций. Кроме этого, необходимы более углубленные и разносторонние исследования воздействия регулярных тромбоцитаферезов на организм донора и изучение связи эксфузии тромбоцитов с изменением параметров феррокинетики.

References

1. WHO. Action framework to advance universal access to safe, effective and quality assured blood products 2020–2023. 2020. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240000384>
2. Uyba V.V., Eihler O.V., Chechetkin A.V., Danilchenko V.V. Voluntary unpaid blood and blood components donation in Russian Federation. Meditsina ehkstremaal'nykh situatsii. 2017; 59(1): 8–13 (In Russian).
3. Order of the Government of Russia № 291-r "On approval of the Concept for increasing the procurement of blood plasma for the production of medicines by the institutions of the Blood Service of the Federal Medical Biological Agency and the subjects of Russia for the period up to 2030 and an action plan ("road map") to increase the procurement of blood plasma for the production of medicines by institutions of the Blood Service of the Federal Medical Biological Agency and the subjects of the Russia" (In Russian).
4. Rogachevsky O.V., Zhiburt E.B., Chemodanov I.G., Moiseev S.V. Iron-deficiency anemia in blood donors. Klinicheskaya farmakologiya i terapiya. 2018; 27(3): 4–9 (In Russian).
5. Gaponova T.V., Khrushchev S.O., Vybornykh D.E., et al. Blood donors: socio-demographic and psychological characteristics (data from the study of the National Research Center for Hematology). Gematologiya i transfuziologiya. 2018; 63(4): 325–33. (In Russian). DOI: 10.25837/HAT.2019.64.27.001.
6. Stefanyuk E.I., Dorunova N.V., Verшинina N.V. Actual problems of development of blood donation and its components in Russia. LitRes: Samizdat. 2021. 24 p. (In Russian). <https://www.litres.ru/elena-ivanovna-stefa/aktualnye-problemy-razvitiya-donorstva-krovi-i-ee-kom/>
7. Matrokhina O.I., Zaitseva G.A., Platonova G.K., et al. The complex estimate of some functional indexes of donors having status "Honorary Donor of Russia". Transfuziologiya. 2015; 16(3): 37–46. (In Russian).
8. Chechetkin A.V., Danilchenko V.V., Plotskiy R.A. The problem of iron deficiency in blood donors and ways to solve it. Transfuziologiya. 2020; 21(2): 129–45. (In Russian).
9. Kiss J.E., Vassallo R.R. How do we manage iron deficiency after blood donation? Br J Haematol. 2018; 181(5): 590–603. DOI: 10.1111/bjh.15136.
10. Vinkenoog M., van den Hurk K., van Kraaij M., et al. First results of a ferritin-based blood donor deferral policy in the Netherlands. Transfusion. 2020; 60(8): 1785–92. DOI: 10.1111/trf.15906.
11. Li H., Condon F., Kessler D., et al. Evidence of relative iron deficiency in platelet- and plasma-pheresis donors correlates with donation frequency. J Clin Apher. 2016; 31(6): 551–8. DOI: 10.1002/jca.21448.

12. Chinigi S.P., Kaur G., Kaur P., et al. Assessment of serum iron stores in regular plateletpheresis donors. *Transfus Apher Sci.* 2022; 61(1): 103291. DOI: 10.1016/j.transci.2021.103291.
13. Воротников И.М., Разин В.А., Ламзин И.М., Хапман М.Э. Анемия и латентный дефицит железа у активных доноров плазмы. *Ульяновский медико-биологический журнал.* 2021; 1: 84–91. DOI: 10.34014 /2227-1848-2021-1-84-91.
14. Убайдуллаева З.И. Риск развития дисбаланса в статусе метаболических нутриентов у женщин активных доноров плазмы. *Дневник казанской медицинской школы.* 2014; 2(5): 18–21.
15. Pfeiffer H., Hechler J., Zimmermann R., et al. Iron Store of Repeat Plasma and Platelet Apheresis Donors. *Clin Lab.* 2021; 67(2): 387–95. DOI: 10.7754/Clin. Lab.2020.200506.
16. Schreiber G.B., Brinser R., Rosa-Bray M., et al. Frequent source plasma donors are not at risk of iron depletion: the Ferritin Levels in Plasma Donor (FLIPD) study. *Transfusion.* 2018; 58(4): 951–9. DOI: 10.1111/trf.14489.
17. Spekman M.L.C., van Tilburg T.G., Merz E.M. Do deferred donors continue their donations? A large-scale register study on whole blood donor return in the Netherlands. *Transfusion.* 2019; 59(12): 3657–65. DOI: 10.1111/trf.15551.
18. Clement M., Shehu E., Chandler T. The impact of temporary deferrals on future blood donation behavior across the donor life cycle. *Transfusion.* 2021; 61(6): 1799–808. DOI: 10.1111/trf.16387.
19. Garcia-Casal M.N., Peña-Rosas J.P., Urrechaga E., et al. Performance and comparability of laboratory methods for measuring ferritin concentrations in human serum or plasma: A systematic review and meta-analysis. *PloS one.* 2018; 13(5): e0196576. DOI: 10.1371/journal.pone.0196576.
20. Долгов В.В., Луговская С.А., Почтарь М.Е., Федорова М.М. Лабораторная диагностика нарушений обмена железа: учеб. пособие. М.: ГБОУ ДПО РМАПО; 2012. 84 с.
21. Spencer B.R., Haynes J.M., Notari E.P., Stramer S.L. Prevalence, risk factors, and ferritin testing to mitigate iron depletion in male plateletpheresis donors. *Transfusion.* 2020; 60(4): 759–68. DOI: 10.1111/trf.15729.
22. Duggan F., O'Sullivan K., Power J.P., et al. Serum ferritin in plateletpheresis and whole blood donors. *Transfus Apher Sci.* 2016; 55(1): 159–63. DOI: 10.1016/j.transci.2016.06.004.
23. Li C., Feng Q., Zhang J., Xie X. A multivariate analysis of the risk of iron deficiency in plateletpheresis donors based on logistic regression. *Transfus Apher Sci.* 2023; 62(1): 103522. DOI: 10.1016/j.transci.2022.103522.
24. Gil-Betacur A., Mantilla-Gutiérrez C.Y., Cardona-Arias J.A. Effect of plateletpheresis on hematocrit, hemoglobin and erythrocyte count: Meta-analysis 1980–2018. *Sci Rep.* 2019; 9(1): 19770. DOI: 10.1038/s41598-019-56175-7.
25. Syal N., Kukar N., Arora H., et al. Assessment of pre and post donation changes in hematological parameters and serum calcium and magnesium levels in plateletpheresis donors *J Family Med Primary Care.* 2022; 11(4): 1489–92. DOI: 10.4103/jfmpc.jfmpc_1409_21.
26. Nayak S., Coshic P., Pandey R.M., Chatterjee K. Frequent plateletpheresis donations & its effect on haematological parameters: An observational study. *Indian J Med Res.* 2019; 150(5): 468–76. DOI: 10.4103/ijmr.IJMR_512_18.
27. Дерпак Ю.Ю. Комплексная оценка морфологических изменений и физических свойств эритроцитов у активных доноров крови. *Здоровье и образование в XXI веке.* 2016; 18(7): 54–9.
28. Evers J., Ehren N., Engelen T., et al. Course of Hemoglobin and Hematocrit during and after Preparatory Plasmaphereses without and with Infusion of NaCl 0.9 % 500 ml. *Transfus Med Hemother.* 2014; 41(2): 114–6. DOI: 10.1159/000354336.
29. WHO guideline on use of ferritin concentrations to assess iron status in individuals and populations. 2020. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331505>.
12. Chinigi S.P., Kaur G., Kaur P., et al. Assessment of serum iron stores in regular plateletpheresis donors. *Transfus Apher Sci.* 2022; 61(1): 103291. DOI: 10.1016/j.transci.2021.103291.
13. Vorotnikov I.M., Razin V.A., Lamzin I.M., Khapman M.E. Anemia and latent iron deficiency in frequent plasma donors. *Ul'yanovskii mediko-biologicheskii zhurnal.* 2021; 1: 84–91. (In Russian). DOI: 10.34014 /2227-1848-2021-1-84-91.
14. Ubaydullaeva Z.I. Imbalance risk in the metabolic nutrient status at women active plasma donors. *Dnevnik kazanskoy meditsinskoy shkoly.* 2014; 2(5): 18–21. (In Russian).
15. Pfeiffer H., Hechler J., Zimmermann R., et al. Iron Store of Repeat Plasma and Platelet Apheresis Donors. *Clin Lab.* 2021; 67(2): 387–95. DOI: 10.7754/Clin. Lab.2020.200506.
16. Schreiber G.B., Brinser R., Rosa-Bray M., et al. Frequent source plasma donors are not at risk of iron depletion: the Ferritin Levels in Plasma Donor (FLIPD) study. *Transfusion.* 2018; 58(4): 951–9. DOI: 10.1111/trf.14489.
17. Spekman M.L.C., van Tilburg T.G., Merz E.M. Do deferred donors continue their donations? A large-scale register study on whole blood donor return in the Netherlands. *Transfusion.* 2019; 59(12): 3657–65. DOI: 10.1111/trf.15551.
18. Clement M., Shehu E., Chandler T. The impact of temporary deferrals on future blood donation behavior across the donor life cycle. *Transfusion.* 2021; 61(6): 1799–808. DOI: 10.1111/trf.16387.
19. Garcia-Casal M.N., Peña-Rosas J.P., Urrechaga E., et al. Performance and comparability of laboratory methods for measuring ferritin concentrations in human serum or plasma: A systematic review and meta-analysis. *PloS one.* 2018; 13(5): e0196576. DOI: 10.1371/journal.pone.0196576.
20. Dolgov V.V., Lugovskaya S.A., Pochtar M.E., Fedorova M.M. Laboratory diagnosis of iron metabolism disorders: textbook. Moscow; 2012: 84 p. (In Russian).
21. Spencer B.R., Haynes J.M., Notari E.P., Stramer S.L. Prevalence, risk factors, and ferritin testing to mitigate iron depletion in male plateletpheresis donors. *Transfusion.* 2020; 60(4): 759–68. DOI: 10.1111/trf.15729.
22. Duggan F., O'Sullivan K., Power J.P., et al. Serum ferritin in plateletpheresis and whole blood donors. *Transfus Apher Sci.* 2016; 55(1): 159–63. DOI: 10.1016/j.transci.2016.06.004.
23. Li C., Feng Q., Zhang J., Xie X. A multivariate analysis of the risk of iron deficiency in plateletpheresis donors based on logistic regression. *Transfus Apher Sci.* 2023; 62(1): 103522. DOI: 10.1016/j.transci.2022.103522.
24. Gil-Betacur A., Mantilla-Gutiérrez C.Y., Cardona-Arias J.A. Effect of plateletpheresis on hematocrit, hemoglobin and erythrocyte count: Meta-analysis 1980–2018. *Sci Rep.* 2019; 9(1): 19770. DOI: 10.1038/s41598-019-56175-7.
25. Syal N., Kukar N., Arora H., et al. Assessment of pre and post donation changes in hematological parameters and serum calcium and magnesium levels in plateletpheresis donors. *J Family Med Primary Care.* 2022; 11(4): 1489–92. DOI: 10.4103/jfmpc.jfmpc_1409_21.
26. Nayak S., Coshic P., Pandey R.M., Chatterjee K. Frequent plateletpheresis donations & its effect on haematological parameters: An observational study. *Indian J Med Res.* 2019; 150(5): 468–76. DOI: 10.4103/ijmr.IJMR_512_18.
27. Derpak Yu.Yu. Comprehensive assessment of morphological changes and the physical properties of red blood cells in the active blood donors. *Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke.* 2016; 18(7): 54–9. (In Russian).
28. Evers J., Ehren N., Engelen T., et al. Course of Hemoglobin and Hematocrit during and after Preparatory Plasmaphereses without and with Infusion of NaCl 0.9 % 500 ml. *Transfus Med Hemother.* 2014; 41(2): 114–6. DOI: 10.1159/000354336.
29. WHO guideline on use of ferritin concentrations to assess iron status in individuals and populations. 2020. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331505>.

30. Ning S., Zeller M.P. Management of iron deficiency. Hematology. Am Soc Hematol Educ Program. 2019; 2019(1): 315–22. DOI: 10.1182/hematology.2019000034.
31. Soppi E.T. Iron deficiency without anemia — a clinical challenge. Clin Case Rep. 2018; 6(6): 1082–6. DOI: 10.1002/ccr3.1529.
32. Balendran S., Forsyth C. Non-anaemic iron deficiency. Aust Prescr. 2021; 44(6): 193–6. DOI: 10.18773/austprescr.2021.052.
33. Zamelska K., Rzepka M., Olszewska-Stonina D., et al. Evaluation of serum iron parameters among men performing regular physical activity — a preliminary study. Life (Basel). 2023; 13(3): 670. DOI: 10.3390/life13030670.
34. Xavier-Ferruccio J., Scanlon V., Li X., et al. Low iron promotes megakaryocytic commitment of megakaryocytic-erythroid progenitors in humans and mice. Blood. 2019; 134(18): 1547–57. DOI: 10.1182/blood.2019002039.
35. Al-Absi B., Almorish M.A.W. The Relationship between Serum Ferritin and Platelet Count in Yemeni Blood Donors. Int J Blood Res Dis. 2023; 10(1): 089. DOI: 10.23937/2469-5696/1410089.
36. Brissot E., Troadec M.B., Loréal O., Brissot P. Iron and platelets: A subtle, under-recognized relationship. Am J Hematol. 2021; 96(8): 1008–16. DOI: 10.1002/ajh.26189.
37. The Evaluation of Platelet Count as an Indicator of Iron Status in Voluntary Plateletpheresis Donors [www.aabb.org]. AABB (Association for the Advancement of Blood & Biotherapies); 2023 [27.04.2023]. https://www.aabb.org/docs/default-source/default-document-library/get-involved/15vinesett.pdf?sfvrsn=852dae78_0

Информация об авторах

Данилова Ирина Николаевна, младший научный сотрудник лаборатории клеточной и молекулярной иммунологии ФГБУН «Кировский научно-исследовательский институт гематологии и переливания крови Федерального медико-биологического агентства»,
e-mail: danilova@niigpk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7865-5056>

Ковтунова Марина Евгеньевна, кандидат медицинских наук, доцент, ученый секретарь ФГБУН «Кировский научно-исследовательский институт гематологии и переливания крови Федерального медико-биологического агентства»,
e-mail: kovtunova@niigpk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1065-9709>

Назарова Елена Львовна, кандидат медицинских наук, заведующая лабораторией клеточной и молекулярной иммунологии ФГБУН «Кировский научно-исследовательский институт гематологии и переливания крови Федерального медико-биологического агентства»,
e-mail: nazarova@niigpk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9890-4264>

Сухорукова Эмилия Евгеньевна, кандидат медицинских наук, научный сотрудник лаборатории клеточной и молекулярной иммунологии ФГБУН «Кировский научно-исследовательский институт гематологии и переливания крови Федерального медико-биологического агентства»,
e-mail: sukhorukova@niigpk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8566-2238>

30. Ning S., Zeller M.P. Management of iron deficiency. Hematology. Am Soc Hematol Educ Program. 2019; 2019(1): 315–22. DOI: 10.1182/hematology.2019000034.
31. Soppi E.T. Iron deficiency without anemia — a clinical challenge. Clin Case Rep. 2018; 6(6): 1082–6. DOI: 10.1002/ccr3.1529.
32. Balendran S., Forsyth C. Non-anaemic iron deficiency. Aust Prescr. 2021; 44(6): 193–6. DOI: 10.18773/austprescr.2021.052.
33. Zamelska K., Rzepka M., Olszewska-Stonina D., et al. Evaluation of serum iron parameters among men performing regular physical activity — a preliminary study. Life (Basel). 2023; 13(3): 670. DOI: 10.3390/life13030670.
34. Xavier-Ferruccio J., Scanlon V., Li X., et al. Low iron promotes megakaryocytic commitment of megakaryocytic-erythroid progenitors in humans and mice. Blood. 2019; 134(18): 1547–57. DOI: 10.1182/blood.2019002039.
35. Al-Absi B., Almorish M.A.W. The Relationship between Serum Ferritin and Platelet Count in Yemeni Blood Donors. Int J Blood Res Dis. 2023; 10(1): 089. DOI: 10.23937/2469-5696/1410089.
36. Brissot E., Troadec M.B., Loréal O., Brissot P. Iron and platelets: A subtle, under-recognized relationship. Am J Hematol. 2021; 96(8): 1008–16. DOI: 10.1002/ajh.26189.
37. The Evaluation of Platelet Count as an Indicator of Iron Status in Voluntary Plateletpheresis Donors [www.aabb.org]. AABB (Association for the Advancement of Blood & Biotherapies); 2023 [27.04.2023]. https://www.aabb.org/docs/default-source/default-document-library/get-involved/15vinesett.pdf?sfvrsn=852dae78_0

Information about the authors

Irina N. Danilova, Junior researcher of the Laboratory of Cellular and Molecular Immunology, Federal State-Financed Scientific Institution Kirov Research Institute of Hematology and Blood Transfusion under the Federal Medical Biological Agency,
e-mail: danilova@niigpk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7865-5056>

Marina E. Kovtunova, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Scientific Secretary, Federal State-Financed Scientific Institution Kirov Research Institute of Hematology and Blood Transfusion under the Federal Medical Biological Agency,
e-mail: kovtunova@niigpk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1065-9709>

Elena L. Nazarova, Cand. Sci. (Med.), Head of the Laboratory of Cellular and Molecular Immunology, Federal State-Financed Scientific Institution Kirov Research Institute of Hematology and Blood Transfusion under the Federal Medical Biological Agency,
e-mail: nazarova@niigpk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9890-4264>

Emilia E. Sukhorukova, Cand. Sci. (Med.), Researcher of the Laboratory of Cellular and Molecular Immunology, Federal State-Financed Scientific Institution Kirov Research Institute of Hematology and Blood Transfusion under the Federal Medical Biological Agency,
e-mail: sukhorukova@niigpk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8566-2238>

Шерстнев Филипп Сергеевич, кандидат медицинских наук, заведующий отделением трансфузиологии и процессинга гемопоэтических стволовых клеток ФГБУН «Кировский научно-исследовательский институт гематологии и переливания крови Федерального медико-биологического агентства»,
e-mail: sherstnev@niigpk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1751-8522>

Попцов Александр Леонидович, кандидат медицинских наук, помощник директора по лабораторной деятельности ФГБУН «Кировский научно-исследовательский институт гематологии и переливания крови Федерального медико-биологического агентства»,
e-mail: poptsov@niigpk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-0287>

Кривокорытова Татьяна Валериевна, заведующая клинической лабораторией ФГБУН «Кировский научно-исследовательский институт гематологии и переливания крови Федерального медико-биологического агентства»,
e-mail: krivokorytova@niigpk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6126-7337>

*** Автор, ответственный за переписку**

Поступила: 26.06.2023

Принята к печати: 01.06.2024

Philipp S. Sherstnev, Cand. Sci. (Med.), Head of the Department of Transfusiology and Processing of Hematopoietic Blood Stem Cells, Federal State-Financed Scientific Institution Kirov Research Institute of Hematology and Blood Transfusion under the Federal Medical Biological Agency,
e-mail: sherstnev@niigpk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1751-8522>

Aleksandr L. Poptsov, Cand. Sci. (Med.), Assistant Director for Laboratory Practice, Federal State-Financed Scientific Institution Kirov Research Institute of Hematology and Blood Transfusion under the Federal Medical Biological Agency,
e-mail: poptsov@niigpk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-0287>

Tatyana V. Krivokorytova, Head of the Clinical Laboratory, Federal State-Financed Scientific Institution Kirov Research Institute of Hematology and Blood Transfusion under the Federal Medical Biological Agency,
e-mail: krivokorytova@niigpk.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6126-7337>

*** Corresponding author**

Received: 26 Jun 2023

Accepted: 01 Jun 2024