



<https://doi.org/10.34883/PI.2025.11.1.002>



Рожков Е.В.¹✉, Кожемяко О.В.¹, Кривоносова Н.В.¹, Курманова О.В.¹, Лахова Е.А.¹,
Могильникова С.Г.¹, Похабов Д.С.², Мадзаев С.Р.², Свищева Е.В.³

¹ Краевая станция переливания крови, Хабаровск, Россия

² Национальный медико-хирургический центр имени Н.И. Пирогова, Москва, Россия

³ Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии, Хабаровск, Россия

Хранение патогенредуцированных концентратов тромбоцитов в добавочном растворе

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: концепция и дизайн исследования, редактирование, сбор материала, обработка, написание текста – Рожков Е.В.; подготовка и сбор образцов для исследования – Лахова Е.А., Могильникова С.Г.; исследование количества клеток в концентратах тромбоцитов – Кривоносова Н.В., Курманова О.В.; исследование уровня pH, глюкозы, лактата, осмолярности в концентратах тромбоцитов – Свищева Е.В.; статистическая обработка, редактирование текста статьи – Мадзаев С.Р., Похабов Д.С.; редактирование текста статьи, окончательное одобрение рукописи – Кожемяко О.В.

Подана: 20.11.2024

Принята: 13.01.2025

Контакты: evgeniy.rozhkov.90@bk.ru

Резюме

Введение. Для повышения инфекционной безопасности продуктов крови применяют методы инактивации патогенов (ПИ) в донорском контейнере. В России одобрены две технологии инактивации патогенов в концентратах тромбоцитов (КТ): интерсепт (амотосален и ультрафиолет А) и мирасол (рибофлавин и ультрафиолет). Дополнительный метод повышения качества КТ – замещение плазмы донора солевым добавочным раствором. Это увеличивает срок хранения КТ с 5 до 7 суток.

Цель. Изучить параметры качества хранящихся патогенредуцированных КТ, заготовленных в добавочном растворе.

Материалы и методы. КТ, полученный методом автоматического тромбоцитафереза и ресуспендированный в растворе SSP+, подвергали ПИ, образцы отбирали для исследования в первые сутки хранения до и после ПИ, а также на 3, 5 и 7-е сутки хранения. Объем дозы и количество клеток, уровень pH, концентрации лактата и глюкозы, осмолярность определяли в 60 образцах: по 20, прошедших ПИ методами интерсепт и мирасол, а также не прошедших ПИ. Также учитывали характеристики доноров: пол, рост, массу, количество донаций в анамнезе. Результаты оценивали методами описательной статистики и анализа при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты. В сравниваемых группах не выявлено отличий пола доноров, их донорского стажа, антропометрических и гематологических показателей. Количество мирасол-тромбоцитов на 3-и сутки сокращается по сравнению с необработанными тромбоцитами, а на 5-е и 7-е – по сравнению с обеими группами сравнения ($p < 0,05$). В процессе хранения КТ в добавочном растворе pH не выходит за пределы нормы. Два других показателя изменились десятикратно: концентрация лактата – возросла, а концентрация глюкозы – упала. На 3–5% от исходного уровня к концу срока хранения возросла осмолярность.

Заключение. Установлено, что в контейнерах с тромбоцитами, ресуспендированными добавочным раствором, наблюдаются изменения подобно тромбоцитам, ресуспендированным в донорской плазме. Снижение количества тромбоцитов в группе мирасол-инактивации сопряжено со снижением pH, усиленным истощением глюкозы и нарастанием лактата. Поскольку pH КТ, заготовленных в добавочном растворе, не выходит за пределы нормы, следует оценить необходимость сохранения этого показателя для контроля качества КТ.

Ключевые слова: заготовка крови, аферез, тромбоциты, инактивация патогенов, добавочный раствор

Rozhkov E.¹✉, Kozhemyako O.¹, Krivonosova N.¹, Kurmanova O.¹, Lakhova E.¹, Mogilnikova S.¹, Pokhabov D.², Madzaev S.², Svishcheva E.³

¹ Regional Blood Transfusion Station, Khabarovsk, Russia

² Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow, Russia

³ Federal Center for Cardiovascular Surgery, Khabarovsk, Russia

Storage of Pathogen-Reduced Platelet Concentrates in an Additive Solution

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors contribution: study concept and design, editing, material collection, processing, writing the text – Rozhkov E.; preparation and collection of samples for the study – Lakhova E., Mogilnikova S.; studies of the number of cells in platelet concentrates – Krivonosova N., Kurmanova O.; study of the level of pH, glucose, lactate, osmolality in platelet concentrates – Svishcheva E.; statistical processing, editing the text of the article – Madzaev S., Pokhabov D.; editing the text of the article, final approval of the manuscript – Kozhemyako O.

Submitted: 20.11.2024

Accepted: 13.01.2025

Contacts: evgeniy.rozhkov.90@bk.ru

Abstract

Introduction. To improve the infectious safety of blood products, pathogen inactivation (PI) methods are used in the donor bag. In Russia, 2 technologies for PI in platelet concentrates (PC) are approved: Intercept (amotosalen and ultraviolet A) and Mirasol (riboflavin and ultraviolet). An additional method for improving the quality of PC is replacing donor plasma with a saline additive solution. This increases the shelf life of PC from 5 to 7 days.

Purpose. To study the quality parameters of stored pathogenreduced PC prepared with an additive solution.

Materials and methods. The PC obtained by automated plateletpheresis and resuspended in SSP+ solution was subjected to PI and samples were collected for analysis on the first day of storage before and after PI, as well as on the third, fifth and 7th days of storage. The unit volume and the number of cells, pH level, lactate and glucose concentrations, osmolality were determined in 60 samples: 20 samples each that underwent PI using the Intercept and Mirasol methods, and 20 samples that did not undergo PI. Donor characteristics were also taken into account: gender, height, weight, number of donations in the anamnesis. The results were assessed using descriptive statistics and analysis at a significance level of $p < 0.05$.



Results. No differences in donor gender, donor experience, anthropometric and hematological parameters were found in the compared groups. The number of Mirasol-platelets on the 3rd day is reduced compared to untreated platelets, and on the 5th and 7th – compared to both comparison groups ($p < 0,05$). During storage of platelet concentrates in an additional solution, the pH does not go beyond the normal range. The other 2 parameters changed tenfold: the lactate concentration increased, and the glucose concentration decreased. Osmolarity increased by 3–5% from the initial level by the end of the storage period.

Conclusion. It was found that in bags with platelets resuspended with an additional solution, changes similar to platelets resuspended in donor plasma are observed. A decrease in the number of platelets in the Mirasol-inactivation group is associated with a decrease in pH, increased depletion of glucose and an increase in lactate. Since the pH of PC prepared in an additional solution does not go beyond the normal range, the need to maintain this indicator for quality control of CT should be assessed.

Keywords: blood collection, apheresis, platelets, pathogen inactivation, additional solution

■ ВВЕДЕНИЕ

Трансфузионная терапия широко применяется в современной медицине, обеспечивая высокие результаты лечения различных заболеваний и травм. Имеет место стабильно высокая повседневная потребность в компонентах крови для лечения плановых и экстренных пациентов. Вопросы донорства тромбоцитов остаются одной из центральных проблем производственной трансфузиологии. На сегодняшний день потребление лечебной сетью тромбоцитов велико [1], существует тенденция к увеличению использования патогенредуцированных концентратов тромбоцитов (КТ), которые обладают рядом очевидных преимуществ [2–4]:

- абсолютная безопасность компонента крови в отношении инфекционных возбудителей, в том числе в период «серонегативного окна»;
- безопасность компонента крови в отношении посттрансфузионных реакций;
- отсутствие необходимости облучения;
- увеличение срока хранения до 7 суток в сочетании с ресуспендированием добавочным раствором.

В настоящее время используются две системы инактивации патогенов (ПИ) – Mirasol (Terumo BCT, США) и Intercept (Cerus Corporation, США). Обе эти системы предотвращают репликацию ДНК/РНК, но отличаются механизмом действия. Система Intercept основана на фотохимическом методе с использованием амotosалена. Этот синтетический псорален проникает через мембраны клеток и ядер и связывает двуцепочечные области ДНК и РНК. Низкоэнергетический источник УФА (320–400 нм) активирует амotosален для образования постоянных перекрестных связей нуклеиновых кислот, таким образом блокируя репликацию ДНК/РНК. В системе используется устройство для абсорбции соединений (CAD) для удаления остаточного амotosалена и фотопродуктов. В системе Mirasol используется рибофлавин (витамин В2), который действует как фотосенсибилизатор. При воздействии света УФА и УФВ (280–400 нм) он способствует повреждению нуклеиновых кислот. Рибофлавин

связывается с нуклеиновыми кислотами и способствует кислород-независимому переносу электронов, что приводит к необратимому повреждению нуклеиновых кислот. Поскольку рибофлавин является витамином природного происхождения и его фотопродукты считаются нетоксичными, необходимость этапа удаления в данном процессе отсутствует [5, 6].

Новый шаг в повышении качества донорских КТ – замещение плазмы специальным солевым добавочным раствором. Тем самым не только экономится плазма и сокращается ее воздействие на организм реципиента, но и увеличивается срок хранения КТ, а также появляется возможность не учитывать АВО-совместимость КТ и реципиента [7, 8].

При исследовании качества хранящихся патогенредуцированных КТ, заготовленных в плазме, показано снижение клеточности и закисление внутренней среды контейнеров, причем на 5-е сутки pH тромбоцитов в группе мирасола было значительно кислее, чем в группе интерсепта ($6,51 \pm 0,15$ против $6,93 \pm 0,15$ соответственно, $p < 0,05$) [9].

Ранее было показано, что в образцах тромбоцитов с добавочным раствором SSP+ изменения биохимических показателей были выражены в меньшей степени [10].

Сравнительное исследование качества хранящихся патогенредуцированных разными способами КТ, заготовленных в добавочном растворе, не проводилось.

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ изменений в КТ, патогенредуцированных различными методами и хранящихся в добавочном растворе.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

КТ, полученный методом автоматического тромбоцитафереза на аппарате Trima Accel (TerumoBCT, США) и MCS+ (Haemonetics, США) и ресуспендированный в добавочном растворе (SSP+, Macopharma, Франция), подвергали ПИ, затем отбирали образцы для исследования в первые сутки до ПИ, на 1, 3, 5 и 7-е сутки после ПИ. Образцы проб из КТ забирали в стерильных условиях с использованием устройства для стерильного соединения трубок пластиковых гемоcontainers TSCD-II (TerumoBCT, США). Отбор проб КТ проводили через 2 ч. после афереза: 1 ч. – фаза покоя, КТ находился вне шейкера, комнатная температура хранения (для спонтанной дезагрегации); 1 ч. – в термостате при температуре $+20-24$ °C при постоянном перемешивании. Исследуемые образцы разделены на группы: группа № 1 (Intercept), группа № 2 (Mirasol) и группа № 3 без ПИ в добавочном растворе. В составе каждой группы находилось по 20 образцов для исследования динамики количества клеток и маркеров метаболизма, таких как лактат, глюкоза, осмолярность и уровень pH в течение срока хранения. Подсчет количества тромбоцитов и исследование проводили на автоматическом гематологическом анализаторе Drew D3 (Drew Scientific, Великобритания). Исследование уровня лактата, глюкозы, pH и осмолярности выполняли на аппаратах Radiometer ABL 800 Flex (Medical ApS, Дания).

Также учитывали характеристики доноров: пол, возраст, рост, массу тела, количество донаций в анамнезе. Произведен анализ зависимости количества тромбоцитов в готовом продукте и уровня маркеров метаболической активности (лактат, глюкоза, pH). Подвергнуты сравнению между собой системы Intercept и Mirasol в отношении



динамики количества клеток, уровня pH, лактата, глюкозы и осмолярности на протяжении срока хранения.

Результаты оценивали методами описательной статистики и анализа при уровне значимости $p < 0,05$.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

В сравниваемых группах не выявлено отличий пола доноров, их донорского стажа, антропометрических и гематологических показателей, что отражено в табл. 1.

Установлено, что в группе № 1 (интерсепт) имеет место постепенное снижение количества тромбоцитов и к пятым суткам существенных изменений не наблюдается. Тромбоциты, инаktivированные в системе Intercept и ресуспендированные в добавочном растворе, демонстрируют изменение клеточного состава, близкое к тромбоцитам группы № 3, где ПИ не выполнялась. Тем самым показывая минимальное воздействие ПИ с применением амотосалена на биологическую ценность готовых тромбоцитов. Для сравнения в группе № 2 (Mirasol) снижение количества тромбоцитов не было постепенным, а наоборот, демонстрировало резкое падение в периоде после 3-х суток, потери тромбоцитов к концу срока хранения имели значимое снижение, что указано в табл. 1.

Несмотря на аналогичные показатели уровня pH, лактата и глюкозы в конце срока хранения во всех исследуемых группах, имеют место существенные различия в показателях с 1-х по 5-е сутки между группами № 1, 3 и группой № 2. Отмечено, что в Mirasol-инаktivированных тромбоцитах усиливается метаболическая активность, о чем может свидетельствовать усиленная продукция лактата и истощение глюкозы в 3-и сутки, в связи с чем наблюдается более выраженное снижение pH и в то же

Таблица 1
Характеристики доноров и показателей концентратов тромбоцитов в добавочном растворе
Table 1
Donor characteristics and platelet concentrate parameters in additive solution

Показатель	Группа № 1 (интерсепт)	Группа № 2 (мирасол)	Группа № 3 (без ПИ)	$p < 0,05$ между группами
Женщины, n (%)	3 (15)	5 (25)	5 (25)	
Рост, см	178,2±4,1	177,6±2,8	178,4±3,6	
Масса тела, кг	85,5±5,1	82,9±3,9	87,3±5,3	
Количество цитаферезов, n	53,1±19,0	54,5±20,4	34,4±11,3	
Концентрация гемоглобина до донации, г/л	165,8±4,4	162,8±3,9	165,1±3,6	
Концентрация тромбоцитов до донации, $10^9/\text{л}$	231,7±12,8	236,8±11,5	235,3±10,6	
Объем до ПИ, мл	420	420	420	
Объем после ПИ, мл	410	455	НП	
Количество тромбоцитов до ПИ, 10^9	635,2±22,4	635,3±24,2	637,0±27,4	
Количество тромбоцитов после ПИ, 10^9	618,8±32,7	633,8±30,1	НП	
Количество тромбоцитов на 3-и сутки, 10^9	610,4±33,5	590,4±36,0	638,6±28,8	2–3
Количество тромбоцитов на 5-е сутки, 10^9	589,7±35,6	320,8±59,6	558,4±59,5	1–2, 2–3
Количество тромбоцитов на 7-е сутки, 10^9	403,6±55,9	219,7±48,3	367,8±64,7	1–2, 2–3

Примечание: здесь и далее НП – не применимо.

время усиленное нарастание уровня осмолярности на протяжении всего срока хранения в группе № 2 (изменения представлены в табл. 2–5).

Таблица 2
Изменение pH в хранящихся концентратах тромбоцитов в добавочном растворе
Table 2
pH change in stored platelet concentrates in additive solution

Показатель	Группа № 1 (интерсепт)	Группа № 2 (мирасол)	Группа № 3 (без ПИ)	p<0,05 между группами
До ПИ	7,08±0,02	7,07±0,03	7,08±0,01	
Сутки 1	7,18±0,34	7,06±0,02	НП	
Сутки 3	7,00±0,07	6,97±0,05	7,2±0,04	1–3, 2–3
Сутки 5	6,97±0,07	6,86±0,05	7,09±0,05	1–2, 1–3, 2–3
Сутки 7	6,91±0,04	6,91±0,07	6,98±0,03	1–3

Таблица 3
Характеристики показателей уровня лактата в концентратах тромбоцитов в добавочном растворе
Table 3
Characteristics of lactate level in platelet concentrates in additive solution

Показатель	Группа № 1 (интерсепт)	Группа № 2 (мирасол)	Группа № 3 (без ПИ)	p<0,05 между группами
До ПИ	1,39±0,18	1,84±0,27	1,48±0,2	1–2, 2–3
Сутки 1	3,47±0,66	1,75±0,18	НП	1–2
Сутки 3	5,69±1,22	8,12±1,04	4,45±0,78	1–2, 2–3
Сутки 5	9,46±1,81	13,63±0,63	9,53±1,45	1–2, 2–3
Сутки 7	14,7±0,95	13,53±1,3	16,16±0,83	1–2, 1–3

Таблица 4
Характеристики показателей уровня глюкозы в концентратах тромбоцитов в добавочном растворе
Table 4
Characteristics of platelet glucose levels in platelet concentrates in additive solution

Показатель	Группа № 1 (интерсепт)	Группа № 2 (мирасол)	Группа № 3 (без ПИ)	p<0,05 между группами
До ПИ, mmol/l	7,59±0,30	7,01±0,29	7,17±0,2	1–2, 1–3, 2–3
Сутки 1, mmol/l	6,24±0,52	6,45±0,26	НП	
Сутки 3, mmol/l	5,19±0,76	3,35±0,72	5,71±0,4	1–2, 2–3
Сутки 5, mmol/l	3,07±0,87	0,37±0,37	3,18±0,7	1–2, 2–3
Сутки 7, mmol/l	0,46±0,39	0,16±0,1	0,29±0,15	

Таблица 5
Характеристики показателей уровня осмолярности в концентратах тромбоцитов в добавочном растворе
Table 5
Characteristics of osmolarity level indicators in platelet concentrates in additive solution

Показатель	Группа № 1 (интерсепт)	Группа № 2 (мирасол)	Группа № 3 (без ПИ)	p<0,05 между группами
До ПИ, mOsm/L	303,28±1,66	307,35±0,99	305,5±1,41	1–2, 2–3
Сутки 1, mOsm/L	304,8±1,29	307,95±0,95	НП	1–2
Сутки 3, mOsm/L	307,02±1,61	310,61±1,48	307,62±1,87	1–2, 2–3
Сутки 5, mOsm/L	310,48±1,74	314,0±1,72	313,35±1,97	1–2, 1–3
Сутки 7, mOsm/L	316,3±2,45	324,33±4,41	325,17±3,39	1–2, 1–3



■ ОБСУЖДЕНИЕ

В 21-м издании Руководства по приготовлению, использованию и обеспечению качества компонентов крови Совета Европы (2023), в главе 5 Монографии компонентов крови появился новый критерий контроля качества концентратов тромбоцитов в добавочном растворе – концентрация глюкозы в конце срока хранения. Им может быть по желанию СПК заменен традиционный критерий – $pH > 6,4$.

Известно, что качество хранящихся тромбоцитов ухудшается, когда pH падает ниже 6,4 и когда имеется недостаточное количество глюкозы. В последние годы появились доказательства того, что добавочный раствор помогает поддерживать качество тромбоцитов, предотвращая снижение pH . Ключевым ингредиентом добавочного раствора является ацетат, который в процессе окислительного фосфорилирования уменьшает количество глюкозы, окисляющейся до молочной кислоты. Снижение продукции молочной кислоты предотвращает снижение pH тромбоцитов. Кроме того, образование бикарбоната после окисления ацетата и добавление буферных солей, таких как фосфат, калий и магний, дополнительно предотвращает снижение pH . Однако истощение запасов глюкозы все же может происходить и ухудшать качество, даже если pH поддерживается выше 6,4. Таким образом, pH не является адекватным показателем качества тромбоцитов, хранящихся в добавочном растворе [11].

В нашем исследовании pH в хранящихся КТ ниже 6,4 не падал, а 2 других показателя изменились десятикратно: концентрация лактата – возросла, а концентрация глюкозы – упала. На 3–5% от исходного уровня к концу срока хранения возросла осмолярность. При этом уровень лактата в течение всего срока хранения в группе 1 значимо ниже аналогичного показателя образцов группы 2. В группе 2 концентрация глюкозы на 3-и и 5-е сутки хранения значимо ниже, чем в группах сравнения.

Ограничение настоящего исследования: проводили в одном центре, исследовали лишь аферезные, но не пулированные тромбоциты. В силу разного цвета содержимого гемоконтейнеров «ослепить» этап отбора проб не представилось возможным.

Таким образом, установлено, что в контейнерах с тромбоцитами, ресуспендированными добавочным раствором, наблюдаются изменения, подобно тромбоцитам, ресуспендированным в донорской плазме [9]. Снижение количества тромбоцитов в группе Mirasol-инактивации сопряжено со снижением pH , усиленным истощением глюкозы и нарастанием лактата.

Поэтому сохраняется рекомендация в случае экстренной заявки из лечебной сети на КТ выбирать ПИ в системе Mirasol ввиду возможности применения инаktivированного компонента крови «день в день», безопасного уровня pH и отсутствия влияния на количество клеток данного метода обработки на начальных сроках хранения. Однако нужно учесть, что в случае длительного хранения следует ожидать снижения ценности данных тромбоцитов. При плановом характере трансфузионной помощи и формировании запаса тромбоцитов следует отдавать предпочтение ПИ в системе Intercept, где количество клеток и метаболические параметры менее изменчивы к окончанию хранения. Кроме того, Intercept лучше обеспечивает «терминальную стерильность» [12].

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная стратегия обеспечит наиболее эффективное применение патогенредуцированных КТ в клинической практике, что в свою очередь дает возможность

повысить устойчивость службы крови к современным меняющимся условиям повседневной деятельности [13]. Сохранность тромбоцитов при хранении, в свою очередь, благоприятно сказывается на лечении пациентов, позволяя увеличить интервал между трансфузиями КТ и максимально эффективно компенсировать тромбоцитопенические состояния в клинической практике [14].

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Gaponova T.V., Kapranov N.M., Tihomirov D.S., et al. Characteristics of the main trends in the work of the blood service of the Russian Federation in 2016–2020. *Hematology and Transfusiology*. 2022;67(3):388–397. DOI: 10.35754/0234-5730-2022-67-3-388-397
2. Zhiburt E.B., Gubanov M.N., Shestakov E.A., et al. Clinical Needs for Blood Components Are Changing. *Bulletin of the N.I. Pirogov National Medical and Surgical Center*. 2008;3(1):60–67.
3. Zarubin M.V., Gubanov M.N., Gaponova T.V., et al. Ensuring the Efficiency and Safety of Platelet Transfusion. *Bulletin of the N.I. Pirogov National Medical and Surgical Center*. 2016;11(3):118–125.
4. Hamitov R.G., Gavrilaj A.V., Drozhzhina I.E., et al. Difficulties in introducing pooled platelets. *Thrombosis, hemostasis and rheology*. 2022;4:22–29. DOI: 10.25555/THR.2022.4.1037
5. Zhiburt E.B., Hamitov R.G., Shalygin L.D. Pathogen Inactivation in Pediatric Transfusiology. *Thrombosis, hemostasis and rheology*. 2022;2:33–40.
6. Rozhkov E.V., Kozhemjako O.V., Ponasenko M.A., et al. Improving the production of pooled pathogen-reduced platelet concentrate. *Transfusiology*. 2022;23(1):16–21.
7. Cardigan R., New H.V., Estcourt L., et al. International Forum on Policies and Practice for Transfusion of ABO and RhD Non-Identical Platelets: Summary. *Vox Sang*. 2022;117(1):136–144. DOI: 10.1111/vox.13129
8. Pohabov D.S., Shestakov E.A., Zhiburt E.B., et al. Hemoglobin concentration and transfusion of ABO-differentiated platelets. *Thrombosis, hemostasis and rheology*. 2024;1:30–36. DOI: 10.25555/THR.2024.1.1084
9. Rozhkov E.V., Kozhemjako O.V., Rozhkova N.S., et al. Storage of pathogenreduced platelets. *Hematology and transfusiology*. 2023;68(2):195–201. DOI: 10.35754/0234-5730-2023-68-2-195-201
10. Azimova M.H., Galstjan G.M., Gaponova T.V., et al. Biochemical parameters of donor platelet concentrates during storage after pathogen inactivation using amotosalen technology + ultraviolet irradiation of spectrum A in vitro. *Hematology and transfusiology*. 2017;62(1):37–40. DOI: 10.18821/0234-5730-2017-62-1-37-40
11. Zhiburt E.B., Hamitov R.G., Pohabov D.S., et al. Updating the European Guide for blood collection and transfusion. *Transfusiology*. 2024;25(1):30–37.
12. McDonald C.P., Bearn J., Aplin K., et al. Assessing the inactivation capabilities of two commercially available platelet component pathogen inactivation systems: effectiveness at end of shelf life. *Vox Sang*. 2021;116(4):416–424. DOI: 10.1111/vox.13040
13. Zhiburt E.B., Chemodanov I.G., Aver'janov E.G., et al. Sustainability of blood services. *Bulletin of the N.A. Semashko National Research Institute of Public Health*. 2017;7:17–24.
14. Shevchenko Ju.L., Karpov O.Je., Zhiburt E.B. Blood transfusion: history and modernity (on the 100th anniversary of blood transfusion in Russia). *Bulletin of the N.I. Pirogov National Medical and Surgical Center*. 2019;14(4):4–11.