



Эффективность и безопасность заготовки донорских гранулоцитов методом автоматического афереза

¹Л. М. Гущина, ²А. В. Липницкий, ¹В. Ф. Еремин, ¹М. П. Потапнев, ¹Т. В. Каменская,

¹И. А. Дунаев, ¹О. А. Жданович, ²Н. П. Кирсанова, ¹А. Д. Козловская, ³Г. Л. Качан

¹Республиканский научно-практический центр трансфузиологии
и медицинских биотехнологий, Минск, Беларусь

²Республиканский научно-практический центр детской онкологии,
гематологии и иммунологии, Минск, Беларусь

³Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь

Цель исследования. Определить эффективность и безопасность заготовки гранулоцитов методом автоматического афереза от здоровых доноров для последующего переливания пациентам онкогематологического профиля с наличием инфекционных осложнений на фоне длительной и глубокой нейтропении.

Материал и методы. У 100 добровольных доноров после мобилизации гранулоцитов с использованием гранулоцитарного колониестимулирующего фактора и дексаметазона проведено 110 процедур автоматического афереза на сепараторах крови MSC+ (Haemonetics, США) (n = 56) и Spectra Optia® Apheresis System (Terumo BCT, США) (n = 54). Оценены эффективность и безопасность процедуры мобилизации и афереза лейкоцитов, также проведено сравнение эффективности афереза гранулоцитов в зависимости от вида сепаратора крови.

Результаты. Используемый режим мобилизации привел к увеличению содержания лейкоцитов у доноров в 5,2 раза (с $6,4 \times 10^9/\text{л}$ до $33,0 \times 10^9/\text{л}$, $p < 0,001$), относительного содержания гранулоцитов – в 1,5 раза (с 60,4 до 91,3 %, $p < 0,001$). Количество ядросодержащих клеток в дозе компонента крови было достоверно выше при использовании сепаратора крови Spectra Optia по сравнению с MCS+ ($25,0 [16,4; 34,4] \times 10^9$ в дозе и $14,9 [10,3; 20,0] \times 10^9$ в дозе соответственно, $p < 0,001$). При этом относительное содержание гранулоцитов в конечном компоненте было значительно большим при проведении процедур на аппарате MCS+ по сравнению со Spectra Optia (92,7 % и 84,5 % соответственно, $p < 0,001$). Побочные эффекты мобилизации гранулоцитов регистрировались в 3 (2,7 %) случаях, при проведении процедуры афереза – у 2 (1,8 %) доноров.

Заключение. Режим мобилизации гранулоцитов с использованием гранулоцитарного колониестимулирующего фактора и дексаметазона показал эффективность и безопасность для донора. Аферез гранулоцитов на сепараторах MSC+ и Spectra Optia позволил получить компонент крови с содержанием ядросодержащих клеток не менее 9×10^9 в дозе и относительном содержании гранулоцитов не менее 60 %, что говорит об эффективности сбора гранулоцитов при указанных способах сепарации. Процедура афереза гранулоцитов показала хорошую переносимость, отсутствие серьезных побочных эффектов, она является безопасной для доноров и может применяться для получения лечебной (достаточной) дозы аллогенных гранулоцитов в комплексном лечении инфекционных осложнений у пациентов с нейтропенией.

Ключевые слова: доноры, колониестимулирующий фактор, аферезные гранулоциты, эффективность, безопасность.

Objective. To determine the effectiveness and safety of collecting granulocytes by automated apheresis from healthy donors for subsequent transfusion to oncohematological patients with infectious complications associated with prolonged and profound neutropenia.

Materials and methods. 110 procedures of automated apheresis were performed on 100 volunteer donors after granulocyte mobilization using granulocyte colony-stimulating factor and dexamethasone. These procedures were conducted on MSC+ blood separators (Haemonetics, USA) (n = 56) and Spectra Optia® Apheresis System (Terumo BCT, USA) (n = 54). The effectiveness and safety of the mobilization and leukocyte apheresis procedures were evaluated, and the effectiveness of granulocyte apheresis was compared based on the type of blood separator used.

Results. The mobilization regimen used led to a 5.2-fold increase in leukocyte content in donors (from $6.4 \times 10^9/\text{l}$ to $33.0 \times 10^9/\text{l}$, $p < 0.001$) and a 1.5-fold increase in the relative granulocyte content (from 60.4 % to 91.3 %, $p < 0.001$). The number of nucleated cells per blood component dose was significantly higher when using the Spectra Optia blood separator compared to the MCS+ ($25.0 [16.4; 34.4] \times 10^9/\text{dose}$ and $14.9 [10.3; 20.0] \times 10^9/\text{dose}$, respectively, $p < 0.001$). However, the relative granulocyte content in the final component was significantly greater when procedures were performed on the MCS+ apparatus compared to Spectra Optia (92.7 % and 84.5 %, respectively, $p < 0.001$). Adverse events associated with granulocyte mobilization were recorded in three cases (2.7 %), and during the apheresis procedure, in two donors (1.8 %).

Conclusion. The granulocyte mobilization regimen using granulocyte colony-stimulating factor and dexamethasone demonstrated effectiveness and safety for the donor. Granulocyte apheresis on MSC+ and Spectra Optia separators yielded a blood component with a nucleated cell content of at least 9×10^9 per dose and a relative granulocyte content of at least 60 %, indicating the effectiveness of granulocyte collection by these separation methods. The granulocyte apheresis procedure showed good tolerability, an absence of serious adverse effects, is safe for donors, and can be used to obtain a therapeutic (sufficient) dose of allogeneic granulocytes for the complex treatment of infectious complications in patients with neutropenia.

Key words: donors, colony-stimulating factor, apheresis granulocytes, effectiveness, safety.

HEALTHCARE. 2026; 8: 4–11

EFFICIENCY AND SAFETY OF GRANULOCYTE COLLECTION FOR TRANSFUSION
USING AUTOMATED PERIPHERAL BLOOD APHERESIS

L. Huchchyna, A. Lipnitski, W. Eremin, M. Potapnev, T. Kamenskaya, I. Dunayeu,
O. Zhdanovich, N. Kirsanova, A. Kazlouskaya, H. Kachan

Хорошо известно, что дефицит количества или функции циркулирующих в периферической крови нейтрофильных гранулоцитов у пациентов является основой их склонности к бактериальным и инвазивным грибковым инфекциям [1; 2]. Пациенты с тяжелой нейтропенией (менее $0,5 \times 10^9/\text{л}$) и/или слабо/не отвечающие на классические антибактериальные и антигрибковые лекарственные средства находятся в угрожающем жизни состоянии с высоким (до 4,5 %) уровнем смерти [3; 4]. Такие состояния обычно встречаются при химиотерапии онкологических и онкогематологических заболеваний, после пересадки гемопоэтических стволовых клеток, особенно у пациентов детского возраста [5–7]. Трансфузия донорских гранулоцитов таким пациентам рассматривается как терапия «последнего шанса», хотя ее эффективность не всегда остается доказанной [1; 7]. Среди причин, определяющих эффективность клинического применения переливания гранулоцитов, указывают количество гранулоцитов в переливаемой дозе, метод их получения, вариабельность состояния донора гранулоцитов, сроки переливания гранулоцитов после заготовки, возможность повторного переливания гранулоцитов, тяжесть состояния пациента [1; 8; 9]. В настоящее время используют три основных метода заготовки донорских гранулоцитов, которые должны быть совместимы с реципиентом по системам ABO, RhD, Kell. Основным является метод получения аферезных гранулоцитов, дополнительными – пулированные (объединенные) гранулоциты лейкотромбоцитарного слоя цельной крови или пулированные гранулоциты фракции лейкоцитов, полученных на аппарате Reveos [3; 9–13]. Использование различных методов связано с возможностью иметь донорские кадры для афереза гранулоцитов или множества (10, 12, 20) одnogрупповых доз цельной крови для фракционирования. При использовании аферезных гранулоцитов важен режим стимулирования гранулоцитопоэза с помощью инъекций кортикостероидов (дексаметазон) и гранулоцитарного колониестимулирующего фактора (Г-КСФ) [9; 11; 14].

Цель исследования – определить эффективность и безопасность заготовки гранулоцитов методом автоматического афереза с использованием

различных препаратов мобилизации гранулоцитов и методов автоматического афереза.

Материал и методы

Отбор доноров гранулоцитов. За период с февраля 2016 г. по январь 2022 г. в ГУ «Республиканский научно-практический центр детской онкологии, гематологии и иммунологии» и «Республиканский научно-практический центр трансфузиологии и медицинских биотехнологий» среди 300 отобранных потенциальных доноров гранулоцитов на основании анамнеза, медицинского осмотра, результатов электрокардиограммы и лабораторных исследований были допущены к стимуляции лейкоцитоза и последующего автоматического гранулоцитафереза 104 давших согласие донора (9 – повторно). Отклонены от процедуры стимуляции лейкоцитоза были 2 донора по причине лейкоцитоза (лейкоциты более $10,0 \times 10^9/\text{л}$), 1 донор – по уровню гемоглобина менее 120 г/л в общем анализе крови (ОАК), 1 донор – на этапе опроса по причине вакцинации против ковид-инфекции. Таким образом, из 104 потенциальных доноров гранулоцитов 100 доноров были стимулированы препаратами Г-КСФ и дексаметазоном и допущены к аферезу гранулоцитов. Временной отвод от донации составил 3,8 %.

Мобилизация гранулоцитов в периферическую кровь доноров. Перед процедурой мобилизации гранулоцитов доноры заполняли карту-анкету донора и подписывали информированное согласие. У доноров определяли группу крови по системам ABO и Rh, Kell-принадлежность, наличие аллоиммунных антиэритроцитарных антител и маркеров трансфузионно-трансмиссивных инфекций. Одновременно перед проведением мобилизации донорам проводили ОАК с лейкоцитарной формулой и скоростью оседания эритроцитов, биохимический анализ крови с определением уровня общего белка и аланинаминотрансферазы (АЛТ). При отсутствии противопоказаний к введению кортикостероидов в качестве мобилизующего агента 62 донора получали филграстим, 48 – ленограстим в медианной дозе 5,53 [4,98; 5,91] мкг/кг подкожно в сочетании с дексаметазоном по 4 мг внутрь за 12 и 2–3 ч до начала процедуры афереза.

Аферез гранулоцитов осуществляли в период с 2016 по 2019 г. на аппарате MSC+ (Haemonetics, США) у 56 доноров путем односторонней венопункции и в период с 2019 по 2022 г. на автоматическом сепараторе клеток крови Spectra Optia® Apheresis System (Terumo BCT, США) у 54 доноров по программе выделения гранулоцитов путем двусторонней периферической венопункции. Во время каждого афереза донорская кровь обрабатывалась со скоростью 50–80 мл/мин. Длительность процедуры составляла от 45 мин до 1,5 ч на аппарате MSC+ и от 1,5 до 3 ч на сепараторе Spectra Optia® и зависела от скорости забора и характеристик венозного доступа. В качестве антикоагулянта использовали раствор ACD-A (500 мл) при соотношении кровь : антикоагулянт = 13 : 1. В соответствии с действующими нормативными правовыми актами каждая доза полученных гранулоцитов проходила контроль качества на гематологическом анализаторе Sysmex (Япония) с подсчетом количества и чистоты гранулоцитов (ядросодержащих клеток – ЯСК).

Нежелательные явления, связанные с процедурами мобилизации и афереза гранулоцитов, регистрировались путем объективного наблюдения за состоянием доноров во время и после донации и опроса.

С целью контроля показателей крови донора назначали ОАК до мобилизации гранулоцитов, перед аферезом гранулоцитов, далее – через 1 мес. и через 1 год в сочетании с биохимическим анализом крови.

Статистическую обработку данных проводили с помощью прикладного пакета программы IBM SPSS Statistics 27.0.1. Данные представлены в виде медианы (Me, 95 % доверительный интервал для медианы) выборки. Нормальность распределения данных проверяли с использованием критерия Шапиро – Уилка при $p < 0,05$. Для значений, имевших распределение, отличное от нормального, для дальнейшего сравнения использовали непараметрический U-критерий Манна – Уитни для сравнения двух независимых групп и критерий

Фридмана для сравнения трех связанных групп и более. При сравнении трех групп применяли поправку Бонферрони и учитывали уровень скорректированной значимости. За критический уровень статистической значимости принимали 95%-ю вероятность безошибочного прогноза ($p < 0,05$).

Результаты и обсуждение

Для проведения афереза гранулоцитов было привлечено 100 доноров, которым проведено 110 процедур заготовки гранулоцитов. При этом 8 донорам выполнили по две процедуры афереза гранулоцитов с предварительной мобилизацией лейкоцитов из костного мозга в периферическую кровь, 1 донору – три процедуры. Интервал между повторными аферезами варьировал от 1 до 579 сут. (Me – 217 сут.). Доля родственных доноров составила 9 %, добровольных неродственных, имевших опыт донации цельной крови и/или компонентов плазмы, – 91 %. Соотношение мужчин к женщинам составило 4,32 : 1 (81 мужчина и 19 женщин), средний возраст доноров гранулоцитов составил 32 ± 9 лет. Характеристика донаций гранулоцитов представлена в табл. 1.

Мобилизация гранулоцитов под действием Г-КСФ в периферической крови доноров ($n = 110$) привела к увеличению содержания лейкоцитов с $6,4 [5,4; 7,6] \times 10^9/\text{л}$ до $33,0 [29,0; 39,5] \times 10^9/\text{л}$ ($p < 0,001$) и относительного содержания гранулоцитов с 60,4 до 91,3 % ($p < 0,001$ с использованием критерия Уилкоксона). При этом Me уровня лейкоцитов в периферической крови доноров, которым вводили ленограстим ($n = 48$), составила $32,0 [28,8; 41,3] \times 10^9/\text{л}$, кому вводили филграстим ($n = 62$) – $34,3 [29,7; 39,2] \times 10^9/\text{л}$, а Me относительного содержания гранулоцитов – 91,0 [88,0; 94,0] % и 92,0 [89,0; 94,0] % соответственно, однако эти различия не были значимыми ($p = 0,490$ и $p = 0,710$ соответственно с использованием критерия Манна – Уитни).

Известно, что комбинация дексаметазона и двух флаконов ленограстима по 263 мкг или одного флакона филграстима 300 мкг являлась достаточной дозой для доноров с массой тела до 70 кг

Таблица 1. Характеристика донаций аферезных гранулоцитов

Table 1. Characteristics of apheresis granulocyte donations

Показатель	Количество
Количество донаций (всего)	110 (100,0 %)
Мобилизирующий агент:	
дексаметазон + ленограстим	48 (43,6 %)
дексаметазон + филграстим	62 (56,4 %)
Вид сепаратора компонента крови:	
Spectra Optia	54 (49,0 %)
MSC+	56 (51,0 %)

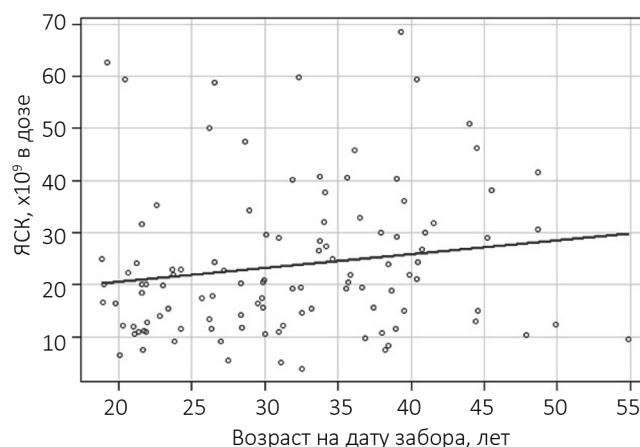
[15–17]. В настоящее время в Республике Беларусь подкожное введение донорам лекарственных средств, содержащих Г-КСФ, одобрено для сбора гранулоцитов в соответствии с постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь «О вспомогательных медицинских технологиях, применяемых в донорстве крови и (или) ее компонентов»¹.

Установлена слабая связь между возрастом донора и количеством ЯСК в дозе полученных аферезных гранулоцитов (коэффициент ранговой корреляции Спирмана $\rho = 0,21$, $n = 110$, $p = 0,026$) (рисунок).

Объем полученных аферезных гранулоцитов в зависимости от сепаратора варьировал от 245 до 600 мл (Me – 390 мл). Эффективность заготовки оценивали по общему количеству лейкоцитов и гранулоцитов в дозе конечного продукта в зависимости от пола донора и вида сепаратора клеток крови (табл. 2).

Как видно из табл. 2, количество ЯСК в дозе аферезных гранулоцитов мужчин и женщин достоверно не различалось с тенденцией более высоких значений у мужчин. При анализе эффективности сбора в зависимости от вида сепаратора выявлено, что медиана количества ЯСК в дозе гранулоцитов, полученных на сепараторе MCS+, была значительно меньше, чем от доноров на Spectra Optia ($14,9 \times 10^9$ в дозе и $25,0 \times 10^9$ в дозе соответственно, $p < 0,001$). С учетом того, что минимально необходимое количество гранулоцитов на одно введение должно быть не менее 9×10^9 в дозе, можно отметить высокую эффективность сбора гранулоцитов при описанных способах мобилизации и сепарации, что соответствовало результатам авторов других исследований [15; 16].

Сравнение методов получения донорских гранулоцитов является актуальным в связи с некото-



Эффективность сбора аферезных гранулоцитов в зависимости от возраста донора

Collection efficiency of apheresis granulocytes depending on donor age

рыми различиями функции и фенотипа клеток, что может повлиять на их клиническую эффективность [18; 19]. Широкое использование аппаратного гранулоцитафереза связано в том числе с наличием аппаратов разных фирм-производителей, что закономерно требует сравнения их технико-экономических характеристик. Имеются данные по сравнительным исследованиям аферезных гранулоцитов, полученных с помощью COBE Spectra и Spectra Optia [11; 20], пулированных гранулоцитов цельной крови и аферезных гранулоцитов [13], аферезных гранулоцитов и пулированных, полученных из цельной крови с использованием системы Reveos [9; 12].

Также остается целесообразным обсуждение различных режимов мобилизации гранулоцитов у доноров [9].

Таблица 2. Количество клеток в дозе аферезных гранулоцитов в зависимости от пола доноров и аппарата автоматического афереза

Table 2. The number of cells in a dose of apheresis granulocytes, depending on donor sex and automated apheresis system

Характеристика	Лейкоциты ($\times 10^9$)	p	Гранулоциты ($\times 10^9$)	p
Пол:				
муж. (n = 90)	21,6 [15,6; 32,5]	0,080	19,9 [13,9; 29,4]	0,066
жен. (n = 20)	17,0 [12,6; 28,0]		14,5 [9,8; 23,6]	
Вид сепаратора:				
MCS+ (n = 56)	16,0 [11,7; 20,4]	< 0,001	14,9 [10,3; 20,0]	< 0,001
Spectra Optia (n = 54)	29,4 [19,9; 40,5]		25,0 [16,4; 34,4]	

Примечание: использован U-критерий Манна – Уитни для сравнения двух независимых групп при $p < 0,05$.

¹О вспомогательных медицинских технологиях, применяемых в донорстве крови и (или) ее компонентов : постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 19 мая 2023 г. № 91 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22340363> (дата обращения: 14.07.2026).

Впервые было проведено сравнение эффективности заготовки аферезных гранулоцитов с применением аппаратов MCS+ и Spectra Optia. Технические характеристики использованных нами процедур афереза гранулоцитов в зависимости от сепаратора крови представлены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, объем обрабатываемой периферической крови донора за одну процедуру был значимо меньше на сепараторе MSC+, чем на Spectra Optia. При этом объем антикоагулянта, вводимый донору во время процедуры для исключения тромбообразования, также был значимо меньше при использовании сепаратора MSC+ по сравнению со Spectra Optia. Объем полученной дозы гранулоцитов был значимо большим при аферезе на Spectra Optia по сравнению с объемом дозы гранулоцитов, полученных на MSC+.

Описанные отличия, вероятно, связаны с различным принципом работы сепараторов. Оборудование для афереза компонентов крови Spectra Optia представляет собой мобильный автоматический сепаратор с использованием центрифугирования, оснащено системой автоматизированного управления границей раздела компонентов крови. В сепараторе MCS+ используется принцип центрифугирования прерывистого потока крови в разделительной камере («колоколе»), в которой под действием сил центрифугирования происходит разделение крови на составляющие и дальнейший запрограммированный сбор мононуклеаров в отдельный пластиковый пакет [21]. Гранулоциты, полученные обоими способами автоматического афереза, перед переливанием пациентам допол-

нительно облучали в соответствии с требованиями качества, установленными постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь «О качестве крови и (или) ее компонентов и номенклатуре крови и (или) ее компонентов»² (объем менее 500 мл и содержание гранулоцитов $9-18 \times 10^9$ на единицу (дозу)).

Серьезных побочных эффектов у доноров во время проведения афереза гранулоцитов не наблюдалось. Гриппоподобные побочные эффекты процедуры мобилизации гранулоцитов были отмечены у 3 (2,7 %) доноров (на этапе мобилизации до процедуры афереза). У 1 из 110 доноров отмечались признаки цитратной интоксикации в виде парестезий конечностей, которые купировались внутривенным введением 10%-го раствора кальция глюконата, у 1 – затруднение венозного доступа.

В нашем исследовании седиментирующий агент гидроксиэтилкрахмалом при проведении процедуры афереза не применялся, связанные с ним описанные в литературе зуд и/или экзантема не встречались [22]. В других исследованиях также отмечали наличие, но мягкий характер побочных эффектов использования мобилизации гранулоцитов у доноров и их аппаратного афереза [23]. Последующее наблюдение за донорами гранулоцитов показало хорошую переносимость использованных препаратов Г-КСФ, введенных для мобилизации клеток в периферическую кровь. Ни один из доноров не был признан нетрудоспособным из-за имевших место легких побочных эффектов. Полученные результаты соответствуют данным других исследований, в которых филгра-

Таблица 3. Характеристики процедуры афереза гранулоцитов в зависимости от используемого сепаратора крови

Table 3. Characteristics of the granulocyte apheresis procedure depending on the blood cell separator used

Показатель	Вид сепаратора	Me [Q1; Q3]	p
Объем обработанной крови, мл	MCS+ Spectra Optia	2700,0 [2425,0; 2800,0] 6000,0 [5700,0; 6000,0]	< 0,001
Объем антикоагулянта, мл	MCS+ Spectra Optia	208,0 [187,0; 215,0] 462,0 [438,0; 462,0]	< 0,001
Объем дозы гранулоцитов, мл	MCS+ Spectra Optia	380,0 [341,0; 390,0] 470,0 [447,0; 470,0]	< 0,001
Чистота гранулоцитов, %	MCS+ Spectra Optia	92,7 [86,3; 96,0] 84,5 [78,5; 88,1]	< 0,001
Примесь эритроцитов	MCS+ Spectra Optia	+++ ++	– –

Примечание: использован U-критерий Манна – Уитни для сравнения двух независимых групп при $p < 0,05$.

²О качестве крови и (или) ее компонентов и номенклатуре крови и (или) ее компонентов : постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 19 мая 2023 г. № 89 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22340127> (дата обращения: 14.07.2026).

стим или ленограстим использовали в качестве мобилизующего агента. Авторы в своих исследованиях отмечали боли в костях, головную боль и повышенную утомляемость у 23,3 %, 20,0 % и 6,7 % соответственно у доноров гранулоцитов при использовании режима мобилизации филграстимом или ленограстимом самостоятельно либо в сочетании с дексаметазоном [15; 22; 23].

Мониторинг состояния доноров аферезных гранулоцитов проводили по оценке уровня лейкоцитов и количестве тромбоцитов в ОАК, а также по уровню АЛТ у доноров до афереза, через 1 мес. и через 1 год после лейкофереза. Как видно из табл. 4, статистически значимых изменений в уровне лейкоцитов, гемоглобина, количестве тромбоцитов, относительном уровне гранулоцитов в ОАК, а также уровня АЛТ в биохимическом анализе крови у доноров до афереза, через 1 мес. и через 1 год после процедуры лейкофереза выявлено не было ($p = 0,060$, $p = 0,201$, $p = 0,413$, $p = 0,134$, $p = 0,392$ соответственно), что свидетельствует об отсутствии значимого влияния мобилизации и процедуры афереза гранулоцитов на исследованные показатели периферической крови доноров.

На основании полученных данных показана безопасность процедуры стимуляции гранулоцитов в периферическую кровь доноров, процедуры лейкофереза, восстановление основных показателей ОАК в течение 1 мес. Это позволило разра-

ботать рекомендации по определению интервала (не менее 30 сут.) между процедурами донаций крови, ее компонентов, которые отражены в постановлении Министерства здравоохранения Республики Беларусь «Об изменении постановления Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 19 мая 2011 г. № 38»³.

Выводы

1. Мобилизация гранулоцитов в периферическую кровь донора при подкожном введении филграстима или ленограстима в дозе 5,0–7,0 мкг/кг массы тела в сочетании с приемом дексаметазона внутрь в дозе 8 мг, разделенного на два приема (по 4 мг внутрь за 12 и 2–3 ч до начала процедуры афереза) является эффективной и безопасной процедурой подготовки доноров крови к аппаратному гранулоцитаферезу.

2. Аферез гранулоцитов на сепараторах MSC+ и Spectra Optia позволяет получить компонент крови с содержанием ЯСК не менее 9×10^9 и относительным содержанием гранулоцитов не менее 60 % в дозе, пригодной для трансфузии реципиентам.

3. Процедура аппаратного афереза гранулоцитов на сепараторах MSC+ и Spectra Optia хорошо переносится донорами без серьезных побочных эффектов и может применяться для получения достаточной терапевтической дозы аллогенных гранулоцитов в комплексном лечении инфекционных осложнений у пациентов с нейтропенией.

Таблица 4. Динамика показателей периферической крови доноров до и после проведения мобилизации и процедуры афереза гранулоцитов

Table 4. Dynamics of donor peripheral blood parameters before and after mobilization and the granulocyte apheresis procedure

Показатель	Уровень показателя			p
	исходный	через 1 мес. после афереза	через 1 год после афереза	
Лейкоциты, $\times 10^9/\text{л}$	6,7 [5,8; 7,9]	6,1 [5,4; 6,9]	6,3 [5,5; 7,0]	0,060
Гемоглобин, г/л	149,5 [141,8; 156,0]	150,5 [142,8; 159,0]	152,0 [145,0; 157,0]	0,201
Тромбоциты, $\times 10^9/\text{л}$	241,5 [211,8; 272,5]	232,0 [204,5; 273,0]	228,0 [208,0; 263,0]	0,413
Гранулоциты, %	61,5 [54,1; 65,4]	60,1 [52,3; 65,9]	58,4 [54,3; 63,2]	0,134
АЛТ, МЕ/л	22,0 [16,0; 32,0]	21,2 [15,9; 30,0]	20,9 [17,7; 28,0]	0,392

Примечание: использован критерий Фридмана для сравнения трех и более связанных групп при $p < 0,05$.

Литература

1. Granulocyte transfusions for preventing infections in people with neutropenia or neutrophil dysfunction / L. J. Estcourt, S. Stanworth, C. Doree [et al.] // *Cochrane Database of Systematic Reviews*. – 2015. – № 6. – doi: 10.1002/14651858.CD005341.pub3.
2. Granulocyte transfusions in the management of invasive fungal infections / K. A. West, J. Gea-Banacloche, D. Stroncek, S. S. Kadri // *The British Journal of Haematology*. – 2017. – Vol. 177, № 3. – P. 357–374.

³Об изменении постановления Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 19 мая 2011 г. № 38 : постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 19 мая 2023 г. № 87 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/docum ent/?guid=12551&p0=W22340070> (дата обращения: 14.07.2026).

3. Production of viable and functional neutrophils in granulocyte concentrates with the Reveos automated system / S. Fonseca, M.-C. Lampron, I. Pare [et al.] // *Vox Sanguinis*. – 2025. – Vol. 120, № 11. – P. 1083–1092.
4. A retrospective observation of donor variables and patient outcome in granulocyte harvest and its transfusion – a limited experience from a single center / A. A. Pawar, A. G. Naqvi, R. Verghese [et al.] // *Asian Journal of Transfusion Science*. – 2025. – doi: 10.4103/ajts.ajts_29_25.
5. Нейтрофильные гранулоциты как компонент крови для переливания. Технология получения и опыт применения для лечения инфекционных осложнений грибковой этиологии у детей с онкогематологическими заболеваниями / Л. М. Гуцина, О. В. Алейникова, М. П. Потапнев [и др.] // *Гематология. Трансфузиология. Восточная Европа*. – 2019. – Т. 5, № 3. – С. 271–280.
6. Granulocyte transfusions in pediatric hemato-oncology: neutrophil response and CRP kinetics / A. Sever, R. Rabinowicz, Sh. Baezilal-Birenboim [et al.] // *Pediatric Blood Cancer*. – 2025. – Vol. 72, № 11. – doi: 10.1002/pbc.31979.
7. Granulocyte transfusion improves survival in pediatric febrile neutropenia : a 15-year cohort study / W. Phetsai, K. Sanpakit, J. Buaboonnam [et al.] // *Clinical and Experimental Pediatrics*. – 2026. – Vol. 69, № 3. – P. 236–246.
8. The burden of invasive infections in neutropenic patients: incidence, outcomes, and use of granulocyte transfusions / T. Netelenbos, E. Massey, L. C. de Wreede [et al.] // *Transfusion*. – 2019. – Vol. 59, № 1. – P. 160–168.
9. Differences in the product characteristics and clinical use of granulocytes for transfusion: The BEST Collaborative study / L. Cain, Ch. Lafrance, S. Morton [et al.] // *Transfusion*. – 2025. – Vol. 65, № 6. – P. 1111–1123.
10. Single-donor granulocyte transfusions for improving the outcome of high-risk pediatric patients with known bacterial and fungal infections undergoing stem cell transplantation: a 10-year single-center experience / O. Nikolajeva, A. Mijovic, D. Hess [et al.] // *Bone Marrow Transplantation*. – 2015. – Vol. 50, № 6. – P. 846–849.
11. Granulocyte apheresis in donors: a comparative study of spectra optia and cobe spectra apheresis systems / L. John, A. A. Vaheedu, P. Ramanadhan [et al.] // *Transfusion and Apheresis Science*. – 2026. – Vol. 65, № 1. – doi: 10.1016/j.transci.2025.104284.
12. Pooled granulocyte component – a worthy rival to the apheresis product / A. Szumowski, T. Wasiluk, M. Sredzinska [et al.] // *Advances in Medical Sciences*. – 2026. – Vol. 71, № 1. – P. 27–39.
13. Granulocyte concentrates derived from buffy coats versus apheresis granulocytes – differences in product characteristics and costs between two centers in India / V. Shenoy, A. Hazra, A. Vaheedu [et al.] // *Indian Journal of Hematology and Blood Transfusion*. – 2026. – Vol. 42, № 3. – P. 1018–1024.
14. Efficacy of transfusion with granulocytes from G-CSF/dexamethasone-treated donors in neutropenic patients with infection / T. H. Price, M. Boeckh, R. W. Harrison [et al.] // *Blood*. – 2015. – Vol. 126, № 18. – P. 2153–2161.
15. Neutrophil function is preserved in a pooled granulocyte component prepared from whole blood donations / S. Bashir, S. Stanworth, E. Massey [et al.] // *British Journal of Haematology*. – 2008. – Vol. 140, № 6. – P. 701–711.
16. Granulocyte transfusion: clinical updates and a practical approach to transfusion / T. Cohen, S. C. Simmons, H. P. Pham, E. M. Staley // *Clinics in Laboratory Medicine*. – 2021. – Vol. 41, № 4. – P. 647–657.
17. Equivalent mobilization and collection of granulocytes for transfusion after administration of glycosylated G-CSF (3 µg/kg) plus dexamethasone versus glycosylated G-CSF (12 µg/kg) alone / H.G. Heuft, L. Goudeva, S. Sel, R. Blasczyk // *Transfusion*. – 2002. – Vol. 42, № 7. – P. 928–934.
18. Yeghen, T. Granulocyte transfusion : a review / T. Yeghen, S. Devereux // *Vox Sanguinis*. – 2001. – Vol. 81, № 2. – P. 87–92.
19. Репина, Л. А. Иммунофенотипическая характеристика «мобилизованных» нейтрофильных гранулоцитов, используемых для переливания / Л. А. Репина, М. П. Потапнев, Л. М. Гуцина // *Гематология. Трансфузиология. Восточная Европа*. – 2022. – Т. 8, № 1. – С. 29–40.
20. Spectra Optia granulocyte apheresis collections result in higher collection efficiency of viable, functional neutrophils in a randomized, crossover, multicenter trial / J. A. Cancelas, A. Padmanabhan, T. Le [et al.] // *Transfusion*. – 2015. – Vol. 55, № 4. – P. 748–755.
21. Quillen, K. The determinants of granulocyte yield in 1198 granulocyte concentrates collected from unrelated volunteer donors mobilized with dexamethasone and granulocyte-colony-stimulating factor : a 13-year experience / K. Quillen, Y. Y. Yau, S. F. Leitman // *Transfusion*. – 2009. – Vol. 49, № 3. – P. 421–426.
22. Safety and efficacy of hematopoietic stem cell collection from mobilized peripheral blood in unrelated volunteers: 12 years of single-center experience in 3928 donors / K. Holig, M. Kramer, F. Kroschinsky [et al.] // *Blood*. – 2009. – Vol. 114, № 18. – P. 3757–3763.
23. Efficacy and side effects of granulocyte collection in healthy donors / F. Brockmann, M. Kramer, M. Bornhauser [et al.] // *Transfusion Medicine and Hemotherapy*. – 2013. – Vol. 40, № 4. – P. 258–264.

References

1. Estcourt L.J., Stanworth S., Doree C., et al. Granulocyte transfusions for preventing infections in people with neutropenia or neutrophil dysfunction. *CDSR*. 2015; 6. doi: 10.1002/14651858.CD005341.pub3.
2. West K.A., Gea-Banacloche J., Stroncek D., Kadri S.S. Granulocyte transfusions in the management of invasive fungal infections. *Br J Haematol*. 2017; 177(3): 357–374.
3. Fonseca S., Lampron M.-C., Pare I., et al. Production of viable and functional neutrophils in granulocyte concentrates with the Reveos automated system. *Vox Sang*. 2025; 120(11): 1083–1092.
4. Pawar A.A., Naqvi A.G., Verghese R., et al. A retrospective observation of donor variables and patient outcome in granulocyte harvest and its transfusion – a limited experience from a single center. *Asian J Transfusion Sci*. 2025. doi: 10.4103/ajts.ajts_29_25.
5. Gushchina L.M., Aleinikova O.V., Potapnev M.P., et al. Neutrophil granulocytes as a blood component for transfusion. Production technology and experience in the treatment of infectious complications of fungal etiology in children with oncohematological diseases. *Hematology. Transfusiology. Eastern Europe*. 2019; 5(3): 271–280. (in Russian)
6. Sever A., Rabinowicz R., Baezilal-Birenboim Sh., et al. Granulocyte transfusions in pediatric hemato-oncology: neutrophil response and CRP kinetics. *Pediatr Blood Cancer*. 2025; 72(11). doi: 10.1002/pbc.31979.
7. Phetsai W., Sanpakit K., Buaboonnam J., et al. Granulocyte transfusion improves survival in pediatric febrile neutropenia. *Clin Exp Pediatr*. 2026; 69(3): 236–246.
8. Netelenbos T., Massey E., de Wreede L.C., et al. The burden of invasive infections in neutropenic patients: incidence, outcomes, and use of granulocyte transfusions. *Transfusion*. 2019; 59(1): 160–168.
9. Cain L., Lafrance Ch., Morton S., et al. Differences in the product characteristics and clinical use of granulocytes for transfusion. *Transfusion*. 2025; 65(6): 1111–1123.
10. Nikolajeva O., Mijovic A., Hess D., et al. Single-donor granulocyte transfusions for improving the outcome of high-risk pediatric patients with known bacterial and fungal infections undergoing stem cell transplantation. *Bone Marrow Transplant*. 2015; 50(6): 846–849.
11. John L., Vaheedu A.A., Ramanadhan P., et al. Granulocyte apheresis in donors: a comparative study of spectra optia and cobe spectra apheresis systems. *Transfus Apheresis Sci*. 2026; 65(1). doi: 10.1016/j.transci.2025.104284.

12. Szumowski A., Wasiluk T., Sredzinska M., et al. Pooled granulocyte component – a worthy rival to the apheresis product. *Adv Med Sci.* 2026; 71(1): 27–39.
13. Shenoy V., Hazra A., Vaheedu A., et al. Granulocyte Concentrates derived from buffy coats versus apheresis granulocytes – differences in product characteristics and costs between two centers in India. *Indian J Hematol Blood Transf.* 2026; 42(3): 1018–1024.
14. Price T.H., Boeckh M., Harrison R.W., et al. Efficacy of transfusion with granulocytes from G-CSF/dexamethasone-treated donors in neutropenic patients with infection. *Blood.* 2015; 126(18): 2153–2161.
15. Bashir S., Stanworth S., Massey E., et al. Neutrophil function is preserved in a pooled granulocyte component prepared from whole blood donations. *Br J Haematol.* 2008; 140(6): 701–711.
16. Cohen T., Simmons S.C., Pham H.P., Staley E.M. Granulocyte transfusion: clinical updates and a practical approach to transfusion. *Clin Lab Med.* 2021; 41(4): 647–657.
17. Heuft H.G., Goudeva L., Sel S., Blasczyk R. Equivalent mobilization and collection of granulocytes for transfusion after administration of glycosylated G-CSF (3 µg/kg) plus dexamethasone versus glycosylated G-CSF (12 µg/kg) alone. *Transfusion.* 2002; 42(7): 928–934.
18. Yeghen T., Devereux S. Granulocyte transfusion. *Vox Sang.* 2001; 81(2): 87–92.
19. Repina L.A., Potapnev M.P., Gushchina L.M. Immunophenotypic characteristics of “mobilized” neutrophil granulocytes used for transfusion. *Hematology. Transfusiology. Eastern Europe.* 2022; 8(1): 29–40. (in Russian)
20. Cancelas J.A., Padmanabhan A., Le T., et al. Spectra Optia granulocyte apheresis collections result in higher collection efficiency of viable, functional neutrophils in a randomized, crossover, multicenter trial. *Transfusion.* 2015; 55(4): 748–755.
21. Quillen K., Yau Y.Y., Leitman S.F. The determinants of granulocyte yield in 1198 granulocyte concentrates collected from unrelated volunteer donors mobilized with dexamethasone and granulocyte-colony-stimulating factor: a 13-year experience. *Transfusion.* 2009; 49(3): 421–426.
22. Holig K., Kramer M., Kroschinsky F., et al. Safety and efficacy of hematopoietic stem cell collection from mobilized peripheral blood in unrelated volunteers: 12 years of single-center experience in 3928 donors. *Blood.* 2009; 114(18): 3757–3763.
23. Brockmann F., Kramer M., Bornhauser M., et al. Efficacy and side effects of granulocyte collection in healthy donors. *Transfus Med Hemother.* 2013; 40(4): 258–264.

Контактная информация:

Гущина Лариса Михайловна – заместитель директора по трансфузиологии
Республиканский научно-практический центр трансфузиологии и медицинских биотехнологий
Долгиновский тракт, 160, 220053, г. Минск
Сл. тел. +375 17 347-56-56
ORCID: 0000-0002-1434-9639

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования: Л. М. Г., Н. П. К., И. А. Д.
Сбор информации и обработка материала: Л. М. Г., А. В. Л., О. А. Ж.,
Статистическая обработка данных: Л. М. Г., Т. В. К.
Написание текста: Л. М. Г., В. Ф. Е., А. Д. К., Г. Л. К.
Редактирование: Л. М. Г., Г. Л. К., П. М. П.
Качан Галина Львовна. ORCID: 0009-0000-6883-6259
Кирсанова Наталья Павловна. ORCID: 0000-0002-3193-4864
Потапнев Михаил Петрович. ORCID: 0000-0002-6805-1782
Дунаев Игорь Анатольевич. ORCID: 0009-0008-8020-2919
Каменская Татьяна Валентиновна. ORCID: 0009-0009-9225-5951

Конфликт интересов отсутствует

Поступила 01.06.2026
Принята к печати 18.08.2026