

Реинфузия крови в хирургии. Современное состояние проблемы

А.Ю. Лубнин, В.В. Громова

ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко» Минздрава Российской Федерации, Москва, Россия

Реферат

В работе на основании данных литературы и собственного опыта анализируется современное состояние проблемы реинфузии крови в хирургии. Рассмотрены технические решения, методические подходы, аппаратура для проведения реинфузии крови у хирургических больных. Также рассмотрены такие аспекты проблемы, как показания, противопоказания и особенности применения методики в различных областях хирургии.

Ключевые слова: реинфузия крови в хирургии, технические решения, показания и противопоказания, возможные осложнения

✉ **Для корреспонденции:** Лубнин Андрей Юрьевич — д-р мед. наук, профессор, руководитель отдела анестезиологии, реанимации и интенсивной терапии ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко» МЗ РФ, Москва; e-mail: lubnin@nsi.ru

☑ **Для цитирования:** Лубнин А.Ю., Громова В.В. Реинфузия крови в хирургии. Современное состояние проблемы. Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова. 2019;4:58–67.

📅 **Поступила:** 06.03.2019

📅 **Принята к печати:** 05.11.2019

Blood reinfusion in surgery. State of art. Review

A.Yu. Lubnin, V.V. Gromova

FSAI "N.N. Burdenko National Scientific and Practical Center for Neurosurgery" of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russia

Abstract

This article is analysis of state of the art «blood reinfusion» in surgical patients, based on literature analysis and self-experience. Main topics are indication and contraindication, modern cell-savers, possible complications and utilization of blood reinfusion in different fields of surgery.

Keywords: blood reinfusion in surgical patients, modern cell-savers, indication and contraindications for blood reinfusion, possible complications

✉ **For correspondents:** Andrey Yu. Lubnin — professor and head of department anesthesiologist and ICU N.N. Burdenko National Medical Research Center, Moscow; e-mail: lubnin@nsi.ru

☑ **For citation:** Lubnin AYu, Gromova VV. Blood reinfusion in surgery. State of art. Review. Annals of Critical Care. 2019;4:58–67.

📅 **Received:** 06.03.2019

📅 **Accepted:** 05.11.2019

DOI: 10.21320/1818-474X-2019-4-58-67

Введение

С момента возникновения хирургии как медицинской дисциплины и до наших дней операционная кровопотеря, в особенности массивная и стремительная, остается

одним из наиболее грозных осложнений периоперационного периода, ответственных за недостаточную радикальность, инвалидизацию и даже летальные исходы. За долгие годы человечество все же научилось определенным образом бороться с проблемой операцион-

ной кровопотери с помощью трех основных подходов: 1) применение инфузионных растворов; 2) трансфузии заготовленных заранее донорских компонентов крови; 3) возврат больному его собственной крови, излившейся в ходе операции. Все три подхода имеют длинную и достаточно интересную историю, останавливаться на которой в рамках данной небольшой работы нет возможности, но есть интересные публикации на эту тему, и заинтересованный читатель может с ними ознакомиться [1–4]. Отметим лишь, что все эти три подхода в настоящее время продолжают развиваться и с успехом используются клинически. Инфузионные растворы, особенно коллоидные, позволяют быстро и эффективно ликвидировать дефицит ОЦК, вызванный операционной кровопотерей, правда, не замещая кислородтранспортной функции потерянных эритроцитов, однако при объеме до 30 или 50 % ОЦК это позволяет решить проблему хотя бы на некоторое время. Заготовка и хранение донорских компонентов крови все более совершенствуются, но главная проблема этого подхода, связанная с возможным инфицированием пациента, остается пока практически нерешенной. Более того, год от года количество потенциальных инфектагенов, передаваемых трансфузионно, расширяется (вирусы, бактерии, простейшие, прионы и т. д. Список очевидно не закончен). Возможно, поэтому третий подход в виде реинфузии собственной крови больного, потерянной в ходе операции, а иногда и в ближайшем послеоперационном периоде, представляется все более интересным и перспективным.

Так получилось, что шесть лет назад нам удалось собрать замечательный авторский коллектив — группу авторов из разных клиник — и выпустить книгу по данной теме [5]. Насколько я знаю, ни я сам, ни другие авторы этой книги не прилагали каких-либо героических усилий по ее распространению. Тем не менее она довольно быстро разошлась по стране и получила даже определенные положительные оценки. Спасибо. Однако с 2013 года прошло шесть лет — срок не большой, но и не малый, и, отчасти по определенным внешним мотивам, отчасти из внутренних побуждений, нам захотелось посмотреть, что же изменилось за это время в клинической «реинфузиологии». Обратившись к поисковой системе PubMed по теме «blood reinfusion», мы обнаружили более 2000 публикаций, что совсем не мало. Кроме того, весной 2018 года мне [А.Л.] удалось поучаствовать в очередной сессии NATA, на которой проблема реинфузии крови также была в центре внимания. Попробуем взглянуть на все это внимательно.

Терминология

На наш взгляд, важно с самого начала договориться об использовании адекватной терминологии. Дело

в том, что в настоящее время существует целый ряд различных кровесберегающих технологий, в ходе реализации которых собственная кровь пациента эксфузируется из его организма с последующим возвратом. Это прежде всего предоперационное аутодонорство (ПАД) и острая изоволемическая гемодилюция (ИВГД). Нам представляется, что это достаточно эффективные самостоятельные методики, но причислять их к реинфузии крови (РК) неправильно. Здесь и далее в изложении мы понимаем под РК только возврат оперируемому пациенту компонентов крови, полученных из его собственной, потерянной в ходе хирургического вмешательства.

Простая и аппаратная реинфузия крови

Этот, казалось бы, вполне очевидный момент читатель должен уяснить себе сразу, хотя информация по этой теме за последние годы существенных изменений не претерпела. Следует сразу отметить, что так называемые простые (не аппаратные) методы РК в настоящее время имеют больше историческое значение и могут быть использованы клинически только в экстренных ситуациях и только для спасения жизни больного (ситуации массивного внутреннего кровотечения, как при нарушенной внематочной беременности; при отсутствии доступного ресурса донорской крови). Это строгое ограничение обусловлено высоким риском вторичных осложнений такой РК, вплоть до возможности летального исхода. Поэтому в настоящее время использование простых методов РК при плановых хирургических вмешательствах признается недопустимым [6]. Тем удивительнее выглядит упорство некоторых производителей, которые до сих пор продолжают производить и торговать простыми устройствами для РК (системы типа Solcotrans Auto, Bellovac ABT Sangvia и подобные им), не предусматривающими какой-либо обработки излившейся или дренажной крови, кроме простой фильтрации.

Излившаяся раневая кровь может несколько отличаться по своему составу в различных областях хирургии (например, примесь жировых глобул в травматологии и ортопедии, амниотической жидкости в акушерстве), но в целом она характеризуется высоким содержанием таких крайне нежелательных компонентов, как разрушенные эритроциты и свободный гемоглобин, активированные лейкоциты и тромбоциты и, конечно, большое количество различных биологически активных веществ. Один из ведущих специалистов в мире по РК в хирургии, профессор Э. Ханзен вообще называл такую среду «супом». Не удивительно, что внутривенное введение такой трансфузионной среды часто вызывает тяжелые последствия [6]. Обработка раневой крови на селл-сейвере путем многократного отмывания стерильными кристаллоидными растворами и последую-

щей сепарации в камере центрифуги позволяет, с одной стороны, удалить все нежелательные примеси, указанные выше, с другой — получить наиболее безопасный компонент (отмытые аутоэритроциты) [7]. Цена этой безопасности — безвозвратная потеря с промывной жидкостью тромбоцитов и плазменных факторов гемостаза. Но, как показывает клиническая практика, вопрос целенаправленной компенсации таких потерь становится актуальным только при массивной и сверхмассивной кровопотере.

Современные селл-сейверы

За прошедшие с выхода нашей книги шесть лет ситуация с коммерчески доступными селл-сейверами не сильно изменилась [8–10]. Те же производители и почти те же машины с почти теми же самыми техническими характеристиками. Единственное отличие, что мне удалось заметить на выставке при последней сессии NATA в Лиссабоне весной 2018 года, — уменьшение количества рабочих режимов в CATSmart до 3 с 11 в CATS прежних моделей. Очевидно, что производитель решил упростить машину. Оправданно это или нет, будущее покажет. Во всяком случае, качество реинфузата существенно не ухудшилось [11, 12].

Принципиальное устройство большинства современных селл-сейверов схематично представлено на рис. 1 и мало чем отличается у различных производителей.

Основными компонентами любого селл-сейвера являются: 1) отсосная двухпросветная линия и кардиотомный резервуар; 2) центрифуга с магистралями; 3) роликовый насос (насосы), обеспечивающий движение всех жидкостей в контуре селл-сейвера; 4) емкость для сбора отмытых эритроцитов.

Отсосная линия селл-сейвера отличается от таковой обычного хирургического отсоса наличием специального второго канала, через который на кончик отсоса подается стерильный раствор антикоагулянта (гепарин или цитрат).

Это важно для предотвращения образования тромбов и сгустков в собираемой раневой крови. Величина разрежения в отсосной системе может иметь значение. Слишком большие значения вакуума (более 100 см H₂O) могут привести к увеличению количества разрушенных эритроцитов [8]. Кардиотомный резервуар в большинстве коммерчески доступных моделей селл-сейвера рассчитан на объем 2–3 литра, а встроенные в него крупнодисперсные фильтры позволяют удалять крупные частицы.

Центрифуга с магистралями являются «сердцем» любого селл-сейвера. Обычная центрифуга типа Latham имеет характерный вид колокола. Такая модель с небольшими модификациями использована в большин-

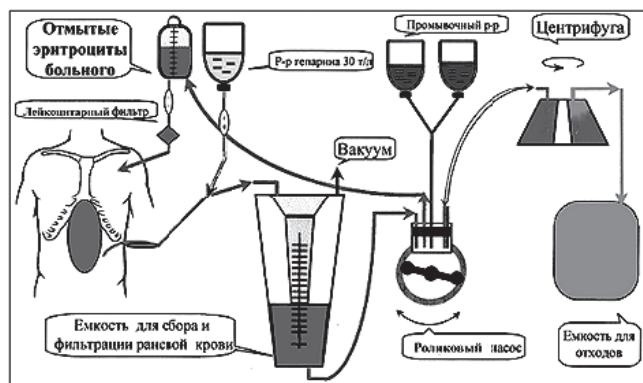


Рис. 1. Принципиальная схема устройства селл-сейвера [14]

стве селл-сейверов, выпускаемых различными фирмами. Незначительно отличается от нее центрифуга типа Baylor. И только в аппарате CATS, разработанном фирмой «Фрезениус», центрифуга устроена принципиально иначе, что и позволяет, в отличие от всех остальных устройств, проводить непрерывную обработку раневой крови [8, 13].

Роликовые насосы продвигают стабилизированную раневую кровь, промывную жидкость и готовый реинфузат по магистралям. Качество обработки реинфузата (содержание Hb) и попадание воздушных эмболов в магистраль контролируют специальные сенсоры прибора.

Емкость для сбора отмытых эритроцитов — это последний обязательный компонент селл-сейвера перед возвратом реинфузата пациенту.

Режимы обработки

Режимы обработки могут быть различными, и с этой позиции все имеющиеся в настоящее время селл-сейверы могут быть разделены следующим образом:

1. Обработка раневой крови осуществляется дискретно или непрерывно (имеет значение для времени процедуры и качества реинфузата). Непрерывная обработка возможна только в аппарате CATS.
2. Наличие возможности ручного регулирования процесса отмывки. Эта опция есть во многих машинах, но в CATS процесс полностью автоматизирован и ручной режим управления процессом не предусмотрен.
3. Собственно различные режимы обработки реинфузата. Считается, что количество циклов отмывки реинфузата определяет его чистоту и, соответственно, качество. По количеству циклов отмывки выделяют обычный (пять циклов отмыкания) и высококачественный (семь циклов) режимы. В селл-сейвере CATS это соответственно Quality и High Quality Wash.

4. Педиатрический режим предусматривает прежде всего возможность работы с малыми объемами излившейся крови. Этот режим есть не во всех машинах и обычно предусматривает необходимость использования специальных малообъемных педиатрических центрифуг. В CATS для реализации педиатрического режима может быть использована обычная центрифуга, позволяющая начинать работу с минимальных объемов излившейся крови.
5. Общее количество режимов обработки. В этом аспекте бесспорным «лидером продаж» являются старые модели CATS. Их там было одиннадцать! Однако в последней своей разработке (CATSmart) производители сдвинулись в сторону упрощения программного обеспечения, оставив только три наиболее часто используемых режима. В целом же сравнительная характеристика основных доступных коммерчески в настоящее время селл-сейверов представлена в специальной главе нашей книги [14].

Наличие достаточного количества селл-сейверов с различными техническими характеристиками является, на наш взгляд, позитивным моментом, так как позволяет пользователю выбрать машину под свои конкретные потребности.

Показания и противопоказания для проведения реинфузии крови в хирургии

По этому разделу ожидаемо принципиальных изменений за прошедшие шесть лет не произошло. Прежние, выстраданные практикой, положения остаются актуальными. Показания для использования РК в хирургии достаточно просты и вполне очевидны: все оперативные вмешательства, проведение которых сопряжено с риском развития массивной операционной кровопотери. Предполагаемый объем операционной кровопотери — это, бесспорно, важный практический фактор, так как, с одной стороны, РК — это относительно недорогая процедура, а с другой — при массивной и сверхмассивной операционной кровопотере РК может сильно изменить структуру ИТГ в сторону аутокрови [15]. В настоящее время в нашей клинике (Центр нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко), если по каким-либо техническим причинам мы не можем обеспечить проведение РК пациенту с прогнозируемой массивной кровопотерей (1 должный ОЦК и более), мы откладываем проведение планового нейрохирургического вмешательства [16].

Однако здесь возникает вопрос прогнозирования объема предстоящей операционной кровопотери. Для пациентов с нейрохирургической патологией, с которыми мы и имеем дело в нашей клинике, нам удалось за годы работы выработать перечень таких прогности-

ческих признаков (табл. 1). Очевидно, что для любой из областей хирургии, где планируется применение РК, необходимо сформулировать свой аналогичный перечень прогностических критериев.

Таблица 1. Прогностические критерии массивной операционной кровопотери в нейрохирургии (цит. по [17])

№	Критерий
1	Большой объем опухоли и его непосредственная близость к крупным артериальным и венозным коллекторам
2	Выраженное накопление контрастного вещества тканью опухоли при КТ и МРТ
3	Выраженная собственная сосудистая сеть опухоли, контрастируемая при церебральной ангиографии
4	Анамнез предыдущих хирургических вмешательств, свидетельствующий о массивной операционной кровопотере
5	Врожденные или приобретенные нарушения гемостаза в виде гипокоагуляции

Конечно, как и любое прогнозирование, перечень из табл. 1 может давать ошибку. Но в этом случае мы рискуем лишь затратами на инсталлированный, но не использованный по назначению стартовый набор «расходки» (отсос и кардиотомный резервуар), стоимость которых невелика. Существенно же более дорогую центрифугу и магистрали следует инсталлировать уже только по факту состоявшейся массивной кровопотери [8].

По сравнению с простыми и понятными показаниями для РК в хирургии противопоказания для ее применения существенно более многочисленны и сложны. Согласно консенсусу экспертов американской ассоциации банков крови (ААВВ), противопоказания для применения РК в хирургии могут быть абсолютными и относительными [18] (табл. 2).

Таблица 2. Противопоказания для применения методики РК в хирургии

<p>I. Абсолютные противопоказания</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Наличие в раневой крови гноя 2. Наличие в раневой крови примеси содержимого толстого кишечника 3. Наличие в раневой крови примесей веществ, запрещенных к в/в введению. (некоторые антибиотики, бетадин, перекись водорода, дистиллированная вода, спирт, авитен и другие местные гемостатические препараты, созданные на основе коллагена)
<p>II. Относительные противопоказания</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Примесь в раневой крови амниотической жидкости 2. Примесь в раневой крови содержимого тонкого кишечника 3. Применение АР при онкохирургических вмешательствах

Некоторые из положений, приведенных в табл. 2, представляются нам далеко не бесспорными. Например, примесь перекиси водорода или дистиллированной воды. Понятно, что попадание этих химических соединений в кровь может спровоцировать гемолиз. Но этот процесс развивается в ране и в кардиотомном резервуаре; в дальнейшем и гемолизованные эритроциты, и свободный гемоглобин будут удалены в процессе обработки раневой крови на селл-сейвере. А наличие спирта в крови вообще не всегда омрачает жизнь! Относительные же противопоказания, как нам представляется, в настоящее время вообще перестали быть противопоказаниями.

Примесь амниотической жидкости в реинфузате. Амниотическая жидкость содержит колоссальное количество самых различных биологически высоко активных веществ, и чем обычно заканчивается ее попадание в системный кровоток матери, хорошо известно. Это тяжелейшая катастрофа с высокой летальностью. Однако есть отдельные исследования, правда только с одной из машин (CATS), в которых было убедительно показано, что при использовании режима высококачественной обработки (High Quality Wash) достижимо полное устранение амниотической жидкости из реинфузата [19, 20]. Это означает, что при использовании машин высокого класса и в режимах усиленного отмывания мы не подвергаем наших пациентов никакому дополнительному риску. Ситуация с примесью в реинфузате содержимого тонкого кишечника примерно такая же, как и в случае с амниотической жидкостью. Качественная обработка на хорошем приборе позволяет решить и эту проблему — получить качественно отмывтые аутоэритроциты [8].

Онкология

Это одна из наиболее сложных и до сих пор обсуждаемых тем касательно РК. Рассмотрим ее подробнее. С одной стороны, онкохирургия является одной из наиболее «кровавых». Кровопотери при онкохирургических вмешательствах зачастую могут достигать по объему 2–3 должных ОЦК, особенно при мультиорганных поражениях или когда в онкологический процесс вовлечены магистральные сосуды [21, 22]. С другой стороны, риск попадания жизнеспособных опухолевых клеток в реинфузат и, как следствие, в системный кровоток пациента является абсолютно реальным, а экспериментальные исследования на лабораторных животных подтвердили способность этих опухолевых клеток вызывать рост вторичных метастатических узлов опухоли [22–25]. Конечно, справедливости ради следует признать, что наличие опухолевых клеток в крови пациента не является феноменом, идентичным метастазированию. Так, феномен наличия опухолевых клеток в крови описан у 70 % больных раком желудка и 50 % пациенток с раком молочной

железы [22], но при этом статистика отдаленного метастазирования у этих пациентов существенно ниже. Понятно, что метастазирование — это сложный многокомпонентный биологический процесс, но наличие опухолевых клеток в крови, возможно, является его основополагающим фактором [26, 27].

Интересна предыстория внедрения реинфузии крови в онкохирургию. В 80–90-х годах прошлого столетия, когда РК крови только начала активно внедряться в хирургическую практику, в США была проведена серия исследований по применению РК с помощью селл-сейверов именно в онкохирургии (удаление рака простаты, матки и др.) [28–31]. Особенностью этих исследований было то, что в них авторы вовсе не использовали никаких мер против контаминации реинфузата опухолевыми клетками! Как это произошло возможным при наличии строгого контроля со стороны FDA и других аналогичных структур в продвинутых в медицинском отношении странах — не вполне понятно, но для нас интересно другое: авторы проследили катамнез больных в группах ауто- и донорской крови, и выяснилось, что в группах пациентов с реинфузией аутокрови, даже без использования каких-либо мер по очистке реинфузата от примеси опухолевых клеток, выживаемость была в 2–3 раза выше, чем в группах больных, у которых была использована донорская кровь! Авторы объяснили это выраженным иммуносупрессивным эффектом донорских компонентов крови.

Тем не менее сейчас все не так уж безнадежно, и человечество выработало несколько решений для этой непростой проблемы. Вот они.

1. Отказ от применения селл-сейвера на основном этапе удаления опухоли [32]. Однако при высокоинвазивных опухолях это технически не всегда просто, да и основной наиболее «кровавый» этап вмешательства — это как раз именно этап удаления опухоли. Это, естественно, означает, что такой подход также неизбежно снизит эффективность самой процедуры РК.
2. Использование фильтров. Опухолевые клетки, попавшие в реинфузат, могут быть успешно удалены из него при прохождении через специальные фильтры. Сейчас для этой цели разрабатываются специальные фильтры, эффективность которых пока еще требует доказательства. Некоторые же авторы, и мы в их числе [15], используют с успехом для этой цели обычные лейкоцитарные фильтры [33–36]. Применение лейкоцитарных фильтров позволяет эффективно уменьшать количество лейкоцитов (до 10–5) по сравнению с их содержанием в реинфузате до фильтрации, однако это все же сохраняет, хотя и минимальный и теоретический, но риск отдаленного метастазирования.

3. Облучение крови. Вероятно, данный подход действительно позволяет полностью решить эту клиническую проблему. В настоящее время доказано, что однократное облучение аутокрови, полученной в результате РК, дозой в 50 Гр вызывает стойкое нарушение митотической активности во всех клетках, содержащих ядра [21]. На эритроциты же, не содержащие ядра, это облучение какого-либо негативного эффекта не оказывает. Ситуацию облегчает наличие на рынке специально разработанных и коммерчески доступных эффективных и безопасных приборов (в том числе отечественных), специально предназначенных для облучения крови. При их использовании процедура занимает не более 30–40 минут.

Наличие даже не одного, а двух надежных способов решения проблемы контаминации реинфузата опухолевыми клетками позволяет в целом рассматривать возможность эффективного использования аппаратной реинфузии крови в онкохирургии как решенную проблему. Тем более шокирующим для меня [А.Л.] прозвучало выступление доктора Р. Меубоhm (Германия) на спонсорском сателлитном симпозиуме в Лиссабоне. Докладчик, не сильно задумываясь, перечислил онкологию в числе противопоказаний к реинфузии крови (!). Правда, как сообщил потом докладчик, его опыт занятия клинической «реинфузиологией» насчитывает всего-то пять лет. Ну а с многочисленными публикациями своего соотечественника профессора Эрнста Ханзена, он, по-видимому, просто не знаком. Онкология в настоящее время противопоказанием для аппаратной реинфузии крови не является. Надо просто использовать известные методы деконтаминации реинфузата, эффективность которых убедительно доказана.

Осложнения методики реинфузии крови

Как и любой методике, РК присущи определенные осложнения, хотя в огромном исследовании, приводимом DeAndrade et al. (более 43 000 пациентов), общая частота осложнений аппаратной РК оказалась экстремально низкой — от 0 до 0,0006 % [37]. К ним следует отнести системные нарушения гемостаза, гемолиз, воздушную эмболию и бактериальную контаминацию реинфузата.

Развитие системных нарушений гемостаза в ситуации массивной операционной кровопотери является вполне закономерным явлением из-за простой потери тромбоцитов и плазменных факторов гемостаза. Если учесть тот факт, что селл-сейвер позволяет вернуть больному только отмытые эритроциты, причина развивающейся гипокоагуляции становится вполне понятной. Вряд ли обоснованно считать эту ситуацию осложнением именно РК. Коррекция нарушений гемостаза

с помощью донорских тромбоцитов и СЗП (донорской или ауто) представляется эффективным решением этой проблемы [8, 15].

Ранее в литературе обсуждался вопрос о возможности развития системной гипокоагуляции из-за попадания антикоагулянта (гепарин, цитрат), используемого для стабилизации излившейся крови, в кровь оперируемого больного в результате реинфузии [8]. Однако последующие исследования убедительно показали, что в процессе обработки раневой крови на селл-сейвере происходит полное отмывание антикоагулянта, а сам реинфузат не вызывает серьезных нарушений в системе гемостаза у пациента [38–40].

Относительно редко, но в результате РК возможно развитие гемолиза в реинфузате с последующей гематурией и даже острым почечным повреждением [41–43]. Его развитию могут способствовать вполне очевидные факторы, такие как механическое повреждение эритроцитов роликовыми насосами, контакт крови с магистральями контура селл-сейвера, высокие цифры разряжения в отсосе, разрушающий эффект УЗИ-аспираторов. Независимым предрасполагающим фактором является возможная патология мембран эритроцитов. Важно помнить о реальной возможности развития этого осложнения, риск которого особенно возрастает при сверхмассивных кровопотерях (2–3 должных ОЦК), когда эритроциты проходят через контур селл-сейвера 2–3 раза, и быть готовым к его лечению. Ключевым моментом в лечении этого осложнения и профилактике его наиболее тяжелого вторичного осложнения — развития ОПН — являются ранняя ощелачивающая терапия и форсированный диурез.

Воздушная эмболия, даже с летальным исходом, как осложнение РК, хотя и было описано в литературе [44], но имеет скорее историческое значение, так как относится к тем далеким временам, когда селл-сейверы имели совсем примитивную конструкцию. Все современные машины для РК оснащены датчиками детекции воздушных эмболов, которые вызывают немедленную остановку процесса при попадании даже небольшого количества воздуха в магистраль [14].

Проблема бактериальной контаминации реинфузата до сих пор остается недооцененной. К сожалению, это справедливо и для нашей книги, где данная проблема даже не рассматривается. Извините. Ряд специальных бактериологических исследований выявил достаточностораживающую ситуацию: даже в таких относительно «чистых» областях хирургии, как нейро- и кардиохирургия, а также трансплантология, частота бактериальной контаминации реинфузата на основании результатов его бактериологических посевов может достигать 70–80 % [45–47]. Основными бактериями, высеваемыми из реинфузата в этих ситуациях, являются микроорганизмы, содержащиеся в воздухе операционной и на коже пациента. Клинически важным, однако, остается тот факт, что АР при такой частоте бактериальной

контаминации исключительно редко сопровождается признаками сепсиса или генерализованной инфекции. В рамках рассматриваемой проблемы определенный интерес представляет результат метаанализа по частоте инфекционных осложнений среди больных, получавших для компенсации операционной кровопотери реинфузат либо донорские эритроциты [48]. Частота послеоперационных инфекционных осложнений оказалась достоверно выше в группе больных, получивших донорские эритроциты, что авторы склонны объяснять их выраженным иммуносупрессивным эффектом. Аналогичные результаты были получены недавно на большом массиве ортопедотравматологических больных [49]. Другой, вполне логичный подход в решении этой проблемы предложили Perez-Ferrer et al. [50]. Они добавили в иригационный раствор ванкомицин в концентрации 10 мкг/мл. Последующие посевы реинфузата в исследуемой группе остались стерильными, тогда как в контрольной группе (без ванкомицина) рост был отмечен в 50 % наблюдений. Снижению бактериальной контаминации реинфузата способствует также применение лейкоцитарных фильтров [51].

Другие осложнения реинфузии крови

Попадание частиц кобальта и хрома в реинфузат описано при установке металлических имплантов в единичном наблюдении [52]. Kim и et al. описали формирование фибриновых сгустков и эритроцитарных агрегатов в реинфузате в двух клинических наблюдениях [53], однако эта информация вряд ли имеет серьезное практическое значение, в том случае если при трансфузии эритроконцентрата используются лейкоцитарные фильтры. Следует ли считать иммунологические модуляции, вызываемые процедурой РК, осложнением методики — большой вопрос [54].

Особенности применения РК в различных областях хирургии

Более подробно эта информация приведена в нашей книге. Здесь же мы кратко остановимся только на отдельных ключевых вопросах.

Сердечно-сосудистая хирургия является, по-видимому, основным полем для использования методики РК. Величина операционной кровопотери часто является достаточно большой; аппаратной обработке может быть подвергнута не только раневая, но и дренажная кровь в послеоперационном периоде и содержащее контура аппарата искусственного кровообращения; кровь пациента часто уже содержит антикоагулянты, что препятствует развитию тромботических осложнений; грудная полость, полости сердца и сосудов относительно стерильны. Поэтому публикаций по применению РК в кардиохирургии много. Резюме их однозначно свидетельствует об эффективности такого подхода [55–

57]. И это касается не только больших кардиохирургических операций, но и малоинвазивных, и их осложнений [58, 59].

В травматологии и ортопедии кровопотери также могут быть значительными по объему, но главной проблемой, специфической для этих больных, является риск попадания жировых глобул из костного мозга в реинфузат и далее в системный кровоток пациента с развитием синдрома жировой эмболии. Решение этой проблемы связано с применением фильтров, причем интересно, что специальные жировые фильтры по своему «делипидизирующему» эффекту оказались менее эффективными, чем простые лейкоцитарные [60].

Массивная кровопотеря в акушерстве до сих пор остается одной из ведущих причин материнской летальности. Учитывая тот факт, что РК — это единственный метод кровесбережения, эффективность которого возрастает с увеличением объема операционной кровопотери, его применение в акушерстве абсолютно показано [61]. Опасность представляет возможность попадания в реинфузат околоплодных вод с последующим развитием синдрома эмболии околоплодными водами. Однако, как уже упоминалось выше, современные селл-сейверы позволяют эффективно отмывать эритроциты и в этой клинической ситуации, а экономическая эффективность РК в акушерстве считается в настоящее время доказанной при значительной по объему кровопотере [62–65].

Применение РК в онкохирургии связано с риском контаминации реинфузата опухолевыми клетками, с последующим возможным развитием отдаленного метастазирования. Использование лейкоцитарных фильтров, особенно облучение реинфузата, позволяет решить и эту проблему [17].

В нейрохирургии реализация РК может быть затруднена из-за проблемы эффективного сбора раневой крови. Применение ультразвуковых аспираторов может существенно снизить эффективность РК из-за повышенного разрушения клеток крови [16]. В случае же нейроонкологии проблема возможной контаминации реинфузата опухолевыми клетками также представляется актуальной (возможные ее решения рассмотрены выше).

Большое количество публикаций за последние пять-семь лет посвящено применению аппаратной РК в спинальной нейрохирургии и при коррекции сколиоза [66–71]. Все авторы отмечают клиническую эффективность аппаратной РК при этих вмешательствах, с некоторыми расхождениями в оценке экономической эффективности методики. Причем метастатические поражения при этом исключением не являются [72, 73].

В детской хирургии, особенно у детей младшего возраста, серьезной проблемой является небольшой объем реинфузата. В этой клинической ситуации обойтись без донорских компонентов крови крайне сложно, но РК при этом может уменьшить вынужденную транс-

фузионную нагрузку на организм оперируемого ребенка [74, 75].

При трансплантации печени, частота которой сейчас в мире достигает 25 000 в год, аппаратная РК рассматривается как рутинная процедура [76].

Заключение

Идея компенсации операционной кровопотери при хирургических вмешательствах с помощью возврата излившейся раневой крови оперируемому больному, возникшая много десятилетий назад, прошла сложный путь и в настоящее время реализована в эффективную медицинскую технологию. Реинфузия крови позволяет существенно снизить трансфузионную нагрузку на больного донорскими компонентами крови, а в ряде случаев, при успешном сочетании с другими кровесберегающими методиками, полностью отказаться от применения донорских компонентов. Методика РК не только развивается технически, но и получает все большее клиническое распространение. Мы искренне надеемся, что кратко приведенная здесь информация по методике РК будет способствовать повышению интереса к ней и еще более широкому ее клиническому распространению.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Лубнин А.Ю., Громова В.В. — анализ информации, написание и редактирование текста статьи.

ORCID автора

Лубнин А.Ю. — 0000-0003-2595-5877

Литература/References

- [1] Громова В.В., Лубнин А.Ю. История развития реинфузии крови в хирургии. Вестн. инт. терапии. 2008; 3: 81–87.
[Gromova V.V., Lubnin A.Yu. History of development of blood reinfusion in surgery. Int. Ther. Gerald. 2008; 3: 81–87. (In Russ)]
- [2] Громова В.В., Лубнин А.Ю. История развития реинфузии крови в хирургии. Ч. 2. Вестн. инт. терапии. 2008; 4: 65–72.
[Gromova V.V., Lubnin A.Yu. History of development of blood reinfusion in surgery. Int. Ther. Gerald. 2008; 4: 65–72. (In Russ)]
- [3] Громова В.В., Лубнин А.Ю. История развития реинфузии крови в хирургии. Ч. 3. Вестн. инт. терапии. 2009; 1: 62–68.
[Gromova V.V., Lubnin A.Yu. History of development of blood reinfusion in surgery. Int. Ther. Gerald. 2009; 1: 62–68. (In Russ)]
- [4] Kaspar S.-M., Neis K. The history of autologous blood transfusion. In: Hempelman G., et al. (Eds.). Autologous haemotherapy. Bierman. 1994: 1–9.
- [5] Лубнин А.Ю., Громова В.В., Ханзен Э. Реинфузия крови в хирургии. Тверь: Триада, 2013.
[Lubnin A.Yu., Gromova V.V., Hansen E. Blood reinfusion in surgery. Tver: Triada, 2013. (In Russ)]
- [6] Ханзен Э. Почему нельзя переливать больному необработанную раневую кровь. В кн.: Лубнин А.Ю., Громова В.В., Ханзен Э. Реинфузия крови в хирургии. Тверь: Триада, 2013: 212–229.
[Hansen E. Why it is impossible reinfused to the patient non-processed blood. In: Lubnin A.Yu., Gromova V.V., Hansen E. Blood reinfusion in surgery. Tver: Triada, 2013: 212–229. (In Russ)]
- [7] Konig G., Waters J.H. Washing and filtering of cell — salvaged blood — does it make autotransfusion safer? TATM. 2012. DOI: 10.1111/j.1778-428X.2012.01155.x
- [8] Sikorsky R.A., Rizkalla N.A., Young W.W., Frank S.M. Autologous blood salvage in the era of patient blood management. VoxSang. 2017. DOI: 10.1111/vox.12527
- [9] Burman J.F., Westlake A.S., Davidson S.J., et al. Study of five cell salvage machines in coronary artery surgery. Transfus. Med. 2002; 12: 173–179.
- [10] Yarham G., Clements A., Oliver M., et al. Evaluating the “next generation” of cell salvage — will it make difference? Perfusion. 2011; 26: 263–270. DOI: 10.1177/02676591111399951
- [11] Alberts M., Groom R.C., Walczak R.Jr., et al. In vitro evaluation of the Fresenius Kabi CFTSmart autotransfusion system. J. Extra Corpor. Technol. 2017; 49: 107–111.
- [12] Lindau S., Kohlhaas M., Nosch M., et al. Cell salvage using the continuous autotransfusion device CATSmart — an observational bicenter technical evaluation. BMC Anesthesiol. 2018; 18: 189. DOI: 10.1186/s12871-018-0651-0
- [13] Громова В.В., Лубнин А.Ю. Анализ современных аппаратов для реинфузии крови. Анест. и реан. 2009; 5: 71–76.
[Gromova V.V., Lubnin A.Yu. An analysis of modern devices for blood reinfusion. Anesth. Reanim. 2009; 5: 71–76. (In Russ)]
- [14] Громова В.В., Лубнин А.Ю. Современное техническое обеспечение реинфузии крови. В кн.: Лубнин А.Ю., Громова В.В., Ханзен Э. Реинфузия крови в хирургии. Тверь: Триада, 2013: 175–211.
[Gromova V.V., Lubnin A.Yu. Modern technical equipment for blood reinfusion. In: Lubnin A.Yu., Gromova V.V., Hansen E. Blood reinfusion in surgery. Tver: Triada, 2013: 175–211. (In Russ)]
- [15] Громова В.В., Лубнин А.Ю., Мошкин А.В., Гаджиева О.А. Интраоперационная реинфузия эритроцитов в нейроанестезиологии. Анест. и реан. 2001; 2: 35–43.
[Gromova V.V., Lubnin A.Yu., Moshkin A.V., et al. Intraoperative blood reinfusion in neuroanesthesiology. Anesth. Rean. 2001; 2: 35–43. (In Russ.)]
- [16] Громова В.В., Лубнин А.Ю. Применение реинфузии крови в нейрохирургии. В кн.: Лубнин А.Ю., Громова В.В., Ханзен Э. Реинфузия крови в хирургии. Тверь: Триада, 2013: 264–305.
[Gromova V.V., Lubnin A.Yu. Blood reinfusion in neuroanesthesiology. In: Lubnin A.Yu., Gromova V.V., Hansen E. Blood reinfusion in surgery. Tver: Triada, 2013: 264–305. (In Russ)]
- [17] Лубнин А.Ю., Громова В.В. Проблема операционной кровопотери и применение современных кровесберегающих методик в нейроанестезиологии. Анест. и Реан. 2003; 3: 26–30.

- [Lubnin A.Yu., Gromova V.V. The problem of blood loss and utilization of modern blood saving technologies in neuroanesthesiology. *Anesth. Rean.* 2003; 3: 26–30. (In Russ)]
- [18] AABB. Standards for perioperative autologous blood collection and administration. 7th edition. ISBN: 9781563959295. <http://www.aabb.org/press/Pages/pr140325>
- [19] Gousher H., Wong C.A., Patel S.K., et al. Cell salvage in obstetrics. *Anesth. Analg.* 2015; 121: 465–468. DOI: 10.1213/ANE0000000000000786
- [20] Milne M.E., Yozer M.H., Waters J.H. Red blood cell salvage during obstetric hemorrhage. *Obstet. Gynecol.* 2015; 125: 919–923.
- [21] Ханзен Э. Реинфузия крови в онкохирургии. В кн.: Лубнин А.Ю., Громова В.В., Ханзен Э. Тверь: Триада, 2013: 398–423.
- [Hansen E. Blood reinfusion in oncologic surgery. In: Lubnin A.Yu., Gromova V.V., Hansen E. Blood reinfusion in surgery. Tver: Triada, 2013: 398–423. (In Russ)]
- [22] Hansen E., Bechman V., Altmehhen J. Intraoperative blood salvage in oncologic surgery — Answers to current questions. *Infus. Ther. Transf. Med.* 2002; 29: 138–141.
- [23] Hansen E., Wolf N., Knuechel R., et al. Tumor cells in blood shed from the surgical field. *Arch. Surg.* 1995; 130: 387–393.
- [24] Hansen E. Cell salvage in the presence of malignancy. *TATM.* 2003; 5: 472–477.
- [25] Valbonesi M., Bruni R., Giannini G., Florio G. Intraoperative blood salvage (IOBS) for tumor surgery. *Int. J. Artif. Org.* 1998; 21: 1–3.
- [26] Kumar N., Zaw A.S., Kantharajanna S.B., et al. Metastatic efficiency of tumour cells can be impaired by intraoperative cell salvage process: truth or conjecture? *Transfus. Med.* 2017; Suppl. 5: 327–334. DOI: 10.1111/tme.12453
- [27] Zaw A.S., Bangalore Kantharajanna S., Kumar N. Is autologous salvaged blood a viable option for patient blood management in oncologic surgery? *Transfus. Med. Rev.* 2017; 31: 56–61. DOI: 10.1016/j.tmr.2016.06.003
- [28] Miller G.V., Ramsden C.W., Primrose J.N. Autologous transfusion: an alternative to transfusion with banked blood during surgery for cancer. *Br. J. Surg.* 1991; 78: 713–715.
- [29] Connor J.P., Morris P.C., Alagoz T., et al. Intraoperative autologous blood collection and autotransfusion in the surgical management of early cancer of uterine cervix. *Obstet. Gynecol.* 1995; 86: 373–378.
- [30] Klimberg J., Sirois R., Wajzman Z. Intraoperative autotransfusion in urologic oncology. *Arch. Surg.* 1986; 121: 1326–1329.
- [31] Pisters L.L., Wajzman Z. Use of predeposit autologous blood and intraoperative autotransfusion in urologic cancer surgery. *Urology.* 1992; 40: 211–215.
- [32] Cataldi S., Bruder N., Dufor H., et al. Intraoperative autologous blood transfusion in intracranial surgery. *Neurosurgery.* 1997; 40: 765–772.
- [33] Muller M., Kuhn D.F., Hinrichs B., et al. Ist die elimination von osteosarkomzellen durch "mashinielle autotransfusion" und leukozyten-depletionsfilter moglich? *Anaesthesist.* 1996; 45: 834–838.
- [34] Kongsgaard U.E., Wang M.Y., Kvalheim G. Leucocyte depletion filter removes cancer cells in human blood. *Acta Anaesth. Scand.* 1996; 40: 118–120.
- [35] Perseghin P., Viganò M., Rocco G., et al. Effectiveness of leukocyte filters in reducing tumor cell contamination after intraoperative blood salvage in lung cancer surgery. *VoxSang.* 1997; 72: 221–224.
- [36] Wiesel M., Gudemann C., Staehlev G. Tumorzellseparation durch cell — saver und membranfilterpassage. *Infusionstherapie.* 1991; 18: 143–144.
- [37] DeAndrade D., Waters J.H., Triulzi D.J., et al. Very low rate of patient-related adverse events associated with the use of intraoperative cell salvage. *Transfusion.* 2016; 56: 2768–2772. DOI: 10.1111/trf.13791
- [38] Froessler B., Weber I., Hodyl N.A., Saadat-Gilani K. Dynamic changes in clot formation determined using thromboelastometry after reinfusion of unwashed anticoagulated cell-salvaged whole blood in total hip arthroplasty. *Blood Transfus.* 2015; 13: 448–454. DOI: 10.2450/2015.0311-14
- [39] Konig G., Yazer M.H., Waters J.H. The effect of salvaged blood on coagulation function as measured by thromboelastography. *Transfusion.* 2013; 53: 1235–1239. DOI: 10.1111/j.1537-2995.2012.03884.x
- [40] Luque-Oliveros M. Haematological alterations in the cardiac patient after use of an autotransfusion system. *Rev. Esp. Anesthesiol. Reanim.* 2018; 65: 74–80. DOI: 10.1016/j.redar.2017.09.003
- [41] Keverline J.P., Sanders J.O. Hematuria associated with low-volume cell saver in pediatric orthopedics. *J. Pediatr. Orthop.* 1998; 18: 594–597.
- [42] Minkara A.A., Lin A.Y., Vitale M.G., Roye D.P. Acute kidney injury secondary to cell saver in posterior spinal fusion. *Spine Deform.* 2017; 5: 430–434. DOI: 10.1016/j.jspd.2017.03.010
- [43] You D., Peiro-Garcia A., Ferri-de-Barros F., Parsons D. Hemolysis following intraoperative cell salvage replacement in scoliosis patient with sickle cell trait: a case report. *Spine.* 2017; 42: E1332–E1333. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002211
- [44] Linden J.V., Kaplan H.S., Murphy M.T. Fatal air embolism due to perioperative blood recovery. *Anesth. Analg.* 1997; 84: 422–426.
- [45] Bland L.A., Villarino M.E., Arduino M.J., et al. Bacteriologic and endotoxin analysis of salvaged blood used in autologous transfusion during cardiac operations. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1992; 103: 582–588.
- [46] Filtracco P., Michioletto S., Barbieri S., et al. Microbiologic contamination of intraoperative blood salvaged during liver transplantation. *Transplant. Proceed.* 2007; 39: 1889–1891.
- [47] Kudo H., Fuita H., Hanada Y., et al. Cytological and bacteriological studies of intraoperative autologous blood in neurosurgery. *Surg. Neurol.* 2004; 62: 195–200.
- [48] Duffu G., Neal K.R. Differences in post-operative infection rates between patients receiving autologous and allogenic blood transfusion: a meta-analysis of published randomized and non-randomized studies. *Transfus. Med.* 1996; 6: 325–328.
- [49] Klasan A., Dworchak P., Heyse T.J., et al. Transfusions increase complications and infections after hip and knee arthroplasty: an analysis of 2760 cases. *Technol. Health Care.* 2018; 26: 825–832. DOI: 10.3233/THC-181324
- [50] Perez-Ferrer A., Gredilla-Diaz E., de Vicente-Sanchez J., et al. Vancomycin added to the wash solution of the cell-saver. Effect on bacterial contamination. *Rev. Esp. Anesthesiol. Reanim.* 2017; 64: 185–191. DOI: 10.1016/j.redar.2016.10.002

- [51] Waters J., Tuohy M., Hobson D., et al. Bacterial reduction by cell-saver salvage washing and leukocyte depletion filtration. *Anesthesiology*. 2003; 99: 652–655.
- [52] Parker L.M., Yazer M.H., Waters J.H. Metallosis identified via intraoperative cell salvage: a case report. *A.A. Case Rep.* 2017; 8: 67–69. DOI: 10.1213/XAA.0000000000000428
- [53] Kim J.H., Bae J.Y., Lee S.I., et al. Blood clot formation in reinfusion bag with CATSmart: two case report. *Int. J. Artif. Organs*. 2019; 42: 668–672. DOI: 10.1177/0391398819855403
- [54] Bomberg H., Volk T., Biedler A., Schneider S.O. Impact of intraoperative blood salvage on monocyte subsets alteration and intracellular tumor necrosis factor alfa production. *J. Biomed. Res. A.* 2018; 106: 815–821. DOI: 10.1002/jbm.a.36281
- [55] Wang G., Bainbridge D., Pharm P., Cheng D. The efficacy of an intraoperative cell-saver during cardiac surgery: A meta-analysis of randomized trials. *Anesth. Analg.* 2009; 109: 320–323.
- [56] Yuet C., Salmi L.R., Fergusson D., et al. A meta-analysis of the effectiveness of cell salvage to minimize perioperative allogenic blood transfusion in cardiac and orthopedic surgery. *International study of perioperative transfusion (ISPOT) investigators. Anesth. Analg.* 1999; 89: 861–869. DOI: 10.1097/00000539-199910000-00009
- [57] Xie Y., Shen S., Zhang J., Wang J., Zheng J. The efficacy, safety and cost-effectiveness of intra-operative cell salvage in high-bleeding-risk cardiac surgery with cardiopulmonary bypass: a prospective randomized and controlled trial. *Int. J. Med. Sci.* 2015; 12: 322–328. DOI: 10.7150/ijms.11227
- [58] Raphael C.E., Maor E., Panaich S.S., et al. The use of intraprocedural reinfusion during mitralclip implantation to reduce blood loss and transfusion requirements. *J. Invasive Cardiol.* 2018; 30: E1–E3.
- [59] Fiocca L., Cereda A.F., Bernelli C., et al. Autologous blood reinfusion during iatrogenic acute hemorrhagic cardiac tamponade: safety and feasibility in a cohort of 30 patients. *Catheter Cardiovasc. Interv.* 2019; 93: E56–E62. DOI: 10.1002/ccd.27784
- [60] Капырина М.В., Аржакова Н.И. Инфузионно-трансфузионная терапия и реинфузия крови при травматолого-ортопедических вмешательствах. В кн.: Лубнин А.Ю., Громова В.В., Ханзен Э. Реинфузия крови в хирургии. Тверь: Триада, 2013: 304–350.
[Kapirina M.V., Arjakova N.I. Infusion-transfusion therapy and blood reinfusion during traumatologic and orthopedic surgery. In: Lubnin A.Yu., Gromova V.V., Hansen E. Blood reinfusion in surgery. Tver: Triada, 2013: 304–350. (In Russ)]
- [61] Tevet A., Grisaru-Granovsky S., Samuelof A., Joscovich A. Peripartum use of cell salvage: a university practical audit and literature review. *Arch. Gynecol. Obstet.* 2012; 285: 281–284.
- [62] Федорова Т.А., Рогачевский О.В. Реинфузия крови в акушерстве и гинекологии. В кн.: Лубнин А.Ю., Громова В.В., Ханзен Э. Реинфузия крови в хирургии. Тверь: Триада, 2013: 218–246.
- [Fedorova T.A., Rogachevsky O.V. Blood reinfusion in obstetrics and gynecology. In: Lubnin A.Yu., Gromova V.V., Hansen E. Blood reinfusion in surgery. Tver: Triada, 2013: 218–246. (In Russ)]
- [63] Dharival S.K., Khan K.S., Allard S., et al. Does current evidence support the use of intraoperative cell salvage in reducing the need for blood transfusion in caesarean section. *Curr. Opin. Obstet. Gynecol.* 2014; 26: 425–430.
- [64] Khan K.S., Moore P., Wilson M., et al. A randomized controlled trial and economic evaluation of intraoperative cell salvage during caesarean section in women at risk of haemorrhage: the SALVO (cell salvage in obstetrics) trial. *Health Technol. Assess.* 2018; 22: 1–88.
- [65] Lim G., Melnyk V., Facco F.L., et al. Cost — effectiveness analysis of intraoperative cell salvage for obstetric hemorrhage. *Anesthesiology*. 2018; 128: 128–134.
- [66] Djurasovic M., McGraw K.E., Bratcher K., et al. Randomized trial of cell saver in 2- tј 3-level lumbar instrumented posterior fusions. *J. Neurosurg. Spine.* 2018; 29: 582–587. DOI: 10.3171/2018.4.SPINE18116
- [67] Hasan M.S., Choe N.C., Chan C.Y.W., et al. Effect of intraoperative autologous transfusion techniques on perioperative hemoglobin level in idiopathic scoliosis patients undergoing posterior spinal fusion: a prospective randomized trial. *J. Orthop. Surg.* 2017; 25: 2309499017718951. DOI: 10.1177/2309499017718951
- [68] Gum J.L., Carreon L.Y., Kelly M.P., et al. Cell saver for adult spinal deformity surgery reduced cost. *Spine Deform.* 2017; 5: 272–274. DOI: 10.1016/j.jspd.2017.01.005
- [69] Liu J.M., Fu B.Q., Chen W.Z., et al. Cell salvage used in scoliosis surgery: Is it really effective? *World Neurosurg.* 2017; 101: 568–576. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.02.057
- [70] Stone N., Sardana V., Missiuna P. Indications and outcomes of cell saver in adolescent scoliosis correction surgery: A systematic review. *Spine.* 2017; 42: E363–E370. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001780
- [71] Nemani V.M., Kim H.J., Mina C.A., et al. Post-operative blood salvage and autotransfusion for adult spinal deformity: A randomized controlled trial. *Spine.* 2019. DOI: 10.1097/BRS.0000000000003176
- [72] Elmalky M., Yasin N., Rodrigues-Pinto R., et al. The safety, efficacy, and cost-effectiveness of intraoperative cell salvage in metastatic spine tumor surgery. *Spine J.* 2017; 17: 977–982. DOI: 10.1016/j.spinee.2017.03.004
- [73] Kumar N., Ravikumar N., Tan J.Y.H., et al. Current status of the use of salvaged blood in metastatic spine tumour surgery. *Neurospine.* 2018; 15: 206–215. DOI: 10.14245/ns.1836140.070
- [74] Леменева Н.В., Сорокин В.С., Лубнин А.Ю. Кровесберегающие технологии в детской нейроанестезиологии. *Анест. и реан.* 2008; 2: 22–26.
[Lemeneva N.V., Sorokin V.S., Lubnin A.Yu. Blood saving technologies in pediatric neuroanesthesiology. *Anest. Rean.* 2008; 2: 22–26. (In Russ.)]
- [75] Samnaliev M., Tran C.M., Sloan S.R., et al. Economic evaluation of cell salvage in pediatric surgery. *Pediatr. Anesth.* 2013; 23: 1027–1034. DOI: 10.1111/pan.12233
- [76] Pinto M.A., Chedid M.F., Sekine L., et al. Intraoperative cell salvage with autologous transfusion in liver transplantation. *World J. Gastrointest. Surg.* 2019; 11: 11–18. DOI: 10.4240/wjgs.v11.i1.11