



Оригинальная статья

Фракция выброса и сердечный индекс в периоперационном периоде коронарного шунтирования – на что стоит ориентироваться?

Паромов К.В.¹ • Хуссейн А.^{1,2} • Неледова Л.А.^{1,2} • Киров М.Ю.^{1,2}

Паромов Константин Валентинович – канд. мед. наук, врач анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии-реанимации № 2, врач функциональной диагностики отделения функциональной диагностики № 3¹; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5138-3617>
✉ 163001, г. Архангельск, ул. Суворова, 1, Российская Федерация. E-mail: kp-82@mail.ru

Хуссейн Айяз – канд. мед. наук, доцент кафедры анестезиологии и реаниматологии²; врач анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии-реанимации регионального сосудистого центра¹; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1476-3693>. E-mail: ayyaz@mail.ru

Неледова Людмила Александровна – канд. мед. наук, ассистент института хирургии²; врач-хирург 7-го хирургического отделения¹; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3432-2951>. E-mail: neluda85@mail.ru

Киров Михаил Юрьевич – д-р мед. наук, профессор, чл.-корр. РАН, зав. кафедрой анестезиологии и реаниматологии²; врач анестезиолог-реаниматолог отделения реанимации и интенсивной терапии¹; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4375-3374>. E-mail: mikhael_kirov@hotmail.com

Актуальность. Фракция выброса (ФВ) признана ключевым эхокардиографическим параметром, описывающим систолическую функцию сердца. Тем не менее остается дискуссионным вопрос о том, насколько этот параметр точен в оценке гемодинамического статуса в периоперационном периоде кардиохирургических вмешательств.

Цель – сравнить значения ФВ, определенные разными способами при эхокардиографии, и сопоставить их с показателями, характеризующими систолическую функцию левого желудочка в периоперационном периоде аортокоронарного шунтирования (АКШ) на работающем сердце.

Материал и методы. Проведен post-hoc анализ двух последовательно выполненных рандомизированных исследований. У 115 пациентов в периоперационном периоде АКШ на работающем сердце с помощью эхокардиографии оценили ФВ и сравнили ее динамику на этапах до поступления в стационар (ФВ_{скрининг}) и накануне операции (ФВ_{симпсон}) (трансторакальным доступом), до стернотомии и по завершении операции (чреспищеводным доступом (ЧПЭД)), а также в конце первых суток послеоперационного периода и перед выпиской из стационара (трансторакальным доступом). Накануне операции и в конце первых послеоперационных суток сравнили ФВ с показателями глобального продольного стрейна (GLS) и с ФВ, определенной автоматически (ФВ_{автор} QLAB 10.0), а также с параметрами гемодинамики, измеренными с помощью термодилуции (ТД), – сердечным индексом (СИ) и индексом ударного объема (ИУО).

Результаты. В периоперационном периоде изменений ФВ_{скрининг} и ФВ_{симпсон} не отмечено, ФВ_{автор}

снизилась с $48,4 \pm 6,4$ до $41,6 \pm 7,3\%$ ($p < 0,001$), а ФВ_{чпэ} повысилась с $49,7 [46,0; 57,0]$ до $53,0 [46,1; 58,1]\%$ ($p = 0,047$) на фоне снижения GLS с $-14,6 \pm 2,5$ до $-11,7 \pm 2,6\%$ ($p < 0,001$). Ошибка в определении ФВ_{симпсон} и ФВ_{автор} по тесту Бланда – Альтмана составила 29,3 и 34,0% накануне операции и в конце первых послеоперационных суток. Выявлена связь GLS и ФВ_{автор} накануне операции ($\rho = -0,791$; $p < 0,001$) и в конце первых суток послеоперационного периода ($\rho = -0,723$; $p < 0,001$); для ФВ_{скрининг} и ФВ_{симпсон} такой связи не установлено. Связи ФВ или GLS с СИ также не обнаружено. Ошибка в определении ИУО_{тд} и ИУО_{эхо} составила 11% ($\rho = 0,301$; $p = 0,001$).

Заключение. Эхокардиографическая оценка ФВ в периоперационном периоде АКШ на работающем сердце недостаточно характеризует систолическую функцию сердца и его производительность, а также зависит от методики определения. Эти ограничения эхокардиографических параметров указывают на необходимость их критической оценки, в том числе сравнения с термодилуционными показателями.

Ключевые слова: эхокардиография, гемодинамический мониторинг, ударный объем, фракция выброса

Для цитирования: Паромов КВ, Хуссейн А, Неледова ЛА, Киров МЮ. Фракция выброса и сердечный индекс в периоперационном периоде коронарного шунтирования – на что стоит ориентироваться? Альманах клинической медицины. 2025;53(2):53–61. doi: 10.18786/2072-0505-2025-53-007.

Поступила 12.02.2025; доработана 23.03.2025; принята к публикации 01.04.2025; опубликована онлайн 11.04.2025

¹ ГБУЗ Архангельской области «Первая городская клиническая больница им. Е.Е. Воловского»; 163001, г. Архангельск, ул. Суворова, 1, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России; 163069, г. Архангельск, Троицкий пр., 51, Российская Федерация



Фракция выброса (ФВ) – ключевой параметр, на основании которого уже многие годы пациентов с сердечной недостаточностью разделяют на фенотипы и выбирают стратегию лечения [1]. В последнее время накапливаются доказательства того, что не только сниженная, но и сохраненная ФВ при сердечной недостаточности ассоциирована с плохим прогнозом [2]. Причина тому не только многофакторность патофизиологических процессов в сердце, но и недостаточная точность определения ФВ. Ряд авторов, говоря об ошибочности стратификации сердечной недостаточности лишь по ФВ, предлагают проводить более специфическое фенотипирование или даже генотипирование у различных категорий пациентов [3, 4]. Еще одно возможное решение – использовать дополнительные эхокардиографические критерии. В частности, показана высокая чувствительность параметра глобального продольного стрейна (англ. global longitudinal strain, GLS) для оценки систолической функции сердца и в выявлении сердечной недостаточности [5]. В реанимационной практике, когда условия преднагрузки и постнагрузки очень лабильны и быстро меняются, показатели продольной деформации служат достаточно надежным критерием восстановления функции миокарда после перенесенного критического состояния [6].

При проведении двухмерной эхокардиографии (ЭхоКГ) для оценки ФВ рекомендован биплановый метод Симпсона [5], однако на его точность влияют фактор оператор-зависимости и технические особенности. Эти ограничения могут быть преодолены с помощью машинного интерфейса и автоматического измерения [7]. Методологической проблемой в определении ФВ служит нелинейная взаимосвязь конечно-систолического (КСО) и конечно-диастолического объемов (КДО) [8]. Так, первый преимущественно обусловлен сократимостью и постнагрузкой, а на второй в большей степени влияет преднагрузка [9]. Ударный объем (УО), представляющий собой разницу диастолического и систолического объемов, – важный гемодинамический параметр, характеризующий систолическую функцию сердца и сердечный выброс, который ассоциирован с прогнозом течения сердечной недостаточности [10, 11]. Вместе с тем эхокардиографическая оценка недостаточно точна в определении УО и сердечного выброса [12], поэтому в реанимационной практике следует критично интерпретировать полученную клиническую информацию для установления истинного состояния гемодинамики.

Цель работы – сравнить значения ФВ, определенные различными способами при ЭхоКГ, и сопоставить их с показателями, характеризующими систолическую функцию левого желудочка в периоперационном периоде аортокоронарного шунтирования (АКШ) на работающем сердце.

Материал и методы

Выполнен post-hoc анализ двух последовательно проведенных рандомизированных исследований с одинаковыми критериями соответствия, но отличающихся по выбору анестезиологического пособия – только общая анестезия либо общая анестезия в комбинации с регионарными методиками (эпидуральная анестезия или блокада нервов фасциального пространства мышц, выпрямляющих позвоночник) [13, 14]. Целью обоих исследований была оценка гемодинамических изменений при различных вариантах анестезии в периоперационном периоде АКШ. Всего в анализ включено 115 пациентов, которым выполнено АКШ на работающем сердце.

Критерии соответствия

Критериями включения считали планируемое изолированное АКШ на работающем сердце у пациентов старше 18 и не более 70 лет; ФВ левого желудочка, измеренную в амбулаторных условиях, более 40%; устойчивый синусовый ритм. Критерием невключения в исследование, помимо отказа от участия в нем, был острый инфаркт миокарда, перенесенный в течение 30 суток до предполагаемой операции.

Продолжительность исследования

В первое исследование включены пациенты, прооперированные с января 2019 по март 2020 г. (n = 70), во второе – с мая 2020 по февраль 2023 г. (n = 45).

Условия проведения

Исследование выполнено на базе ГБУЗ Архангельской области «Первая городская клиническая больница им. Е.Е. Волосевич».

Описание медицинского вмешательства

После получения добровольного информированного согласия, накануне операции пациентам выполняли ЭхоКГ с оценкой ФВ левого желудочка по методу Симпсона (ФВ_{симпсон}), а также исследование GLS, КСО и КДО левого желудочка с автоматическим измерением ФВ (ФВ_{авто}) с помощью программы QLAB 10.0 на аппарате Philips CX-50 (Philips, Нидерланды). Чреспищеводное эхокардиографическое исследование



дование проводили после индукции в анестезию перед началом вмешательства и при его завершении (с оценкой $ФВ_{\text{симпсон}}$) параллельно с измерением сердечного индекса (СИ) и индекса УО (ИУО) с помощью препульмональной термодилуции (монитор Nihon Kohden, Япония). В конце первых послеоперационных суток при восстановлении сознания и спонтанного дыхания повторяли измерения $ФВ_{\text{симпсон}}$, $ФВ_{\text{авто}}$, СИ, ИУО, GLS с расчетом КСО/КДО_{авто}. Перед выпиской из хирургического отделения проводили скрининговое исследование с оценкой $ФВ$, которую сравнивали со скрининговым показателем $ФВ$, определенной амбулаторно до поступления в стационар.

Этическая экспертиза

Оба рандомизированных исследования одобрены этическим комитетом ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Минздрава России (протокол № 9/12-18 от 18.12.2018 и протокол № 03/04-20 от 29.04.2020).

Регистрация исходов

Первичный исход настоящего post-hoc анализа – оценить изменчивость и точность $ФВ$, измеренной различными методами в периоперационном периоде АКШ на работающем сердце, и соотнести полученные результаты с параметрами оценки производительности сердца (сердечный выброс) и его систолической функции (GLS).

Статистический анализ

Статистическую обработку данных выполняли с помощью пакета программ SPSS v. 21.0 (SPSS Inc, США) и языка R (версия 4.3.1). Нормальность распределения данных оценивали по критерию Шапиро – Уилка. В случае нормального распределения данные представлены в виде среднего арифметического и стандартного отклонения ($M \pm SD$), для скошенного распределения – как медиана и межквартильный размах ($Me [Q25; Q75]$). Сравнение $ФВ_{\text{симпсон}}$ и $ФВ_{\text{авто}}$ осуществляли методом Бланда – Алтмана. Различия параметров на этапах исследования сравнивали, используя критерии Уилкоксона и Стьюдента при скошенном и правильном распределении соответственно. Корреляционные связи оценивали с помощью критериев Пирсона и Спирмена в зависимости от нормальности распределения. Различия считали значимыми при $p < 0,05$. Учитывая post-hoc характер исследования, расчет необходимого размера выборки не выполняли.

Результаты

Демографическая характеристика обследованных пациентов и их показатели гемодинамики в периоперационном периоде приведены в таблице. Профиль коморбидности и гендерно-возрастной состав соответствовали общемировой структуре заболеваемости ишемической болезнью сердца. Когорта пациентов в целом схожа по периоперационному риску и степени систолической дисфункции левого желудочка. Коронарное шунтирование

Общая характеристика обследованных пациентов

Показатель	Значение	Значение p
Возраст, лет	60,4 ± 6,7	
Пол муж. / жен., абс.	91 / 24	
Сахарный диабет, %	21,7	
Длительность операции, мин	174,3 ± 38,9	
Euroscore II, %	1,01 [0,75; 1,38]	
Предоперационные показатели гемодинамики:		
КСО исходно, мл	53,8 [44,7; 73,0]	
КДО исходно, мл	114,3 ± 34,2 109,0 [90,0; 134,7]	
GLS до операции, %	-14,6 ± 2,5	
СИ перед операцией, л/мин/м ²	1,58 ± 0,33	
Послеоперационные показатели гемодинамики:		
КСО в конце ПОД 1, мл	50,6 [40,0; 71,2]	0,007*
КДО в конце ПОД 1, мл	94,0 ± 32,5 87,1 [68,4; 115,1]	< 0,001*
GLS в конце ПОД 1, %	-11,7 ± 2,6	< 0,001*
СИ после операции, л/мин/м ²	1,84 [1,47; 2,34]	< 0,001*
СИ в конце ПОД 1, л/мин/м ²	2,54 ± 0,48	< 0,001*
ЧСС _д в конце ПОД 1, уд/мин	78,4 ± 10,2	
ИУО _д в конце ПОД 1, мл/м ²	32,4 ± 6,6	
ЧСС _{эхо} в конце ПОД 1, уд/мин	79,1 ± 10,4	
ИУО _{эхо} в конце ПОД 1, мл/м ²	19,9 ± 7,6	
VTI _{вплж} в конце ПОД 1, см	15,4 ± 2,9	
Выраж TnT за 1-е сутки, раз	16,0 [9,6; 24,5]	

Euroscore II – риск летального исхода через 28 суток, оцененный по шкале Euroscore II, GLS – глобальный продольный стрейн, TnT – тропонин T, VTI_{вплж} – интегральная скорость потока в выходном тракте левого желудочка, ИУО_д – индекс ударного объема, определенный при термодилуции, ИУО_{эхо} – индекс ударного объема, определенный при эхокардиографии, КДО – конечно-диастолический объем, КСО – конечно-систолический объем, ПОД 1 – 1-е сутки послеоперационного периода, СИ – сердечный индекс, ЧСС_д – частота сердечных сокращений, измеренная при проведении термодилуции, ЧСС_{эхо} – частота сердечных сокращений, измеренная при проведении эхокардиографии

Данные представлены в виде среднего арифметического и стандартного отклонения ($M \pm SD$) и/или медианы и межквартильного размаха ($Me [Q25; Q75]$)

* В сравнении с исходным значением

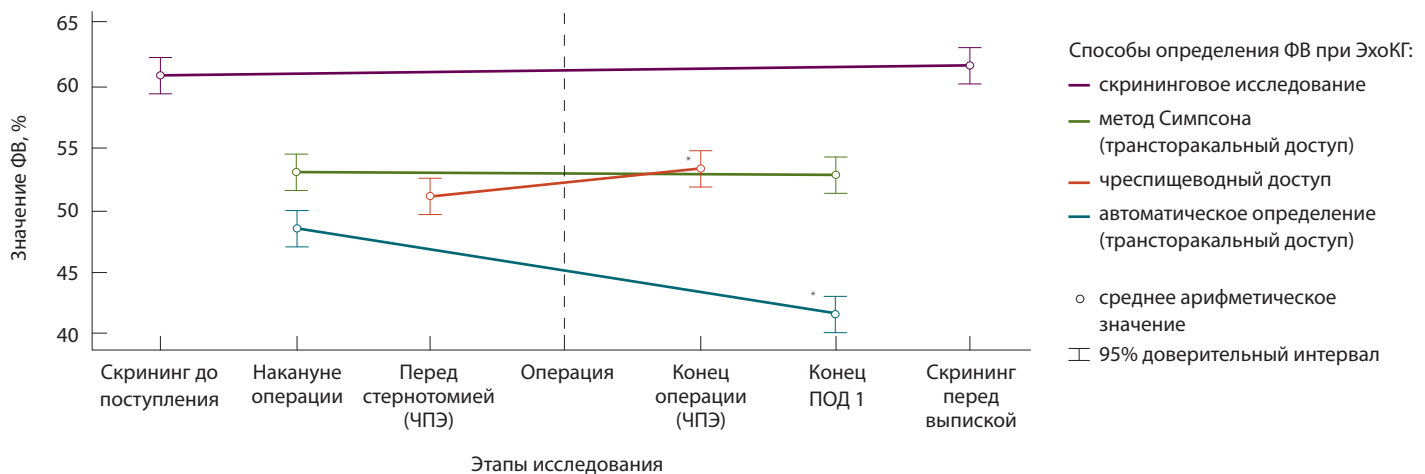


Рис. 1. Динамика фракции выброса (ФВ), определенной разными способами, на этапах исследования с соответствующими линиями интерполяции. ПОД 1 – первый послеоперационный день, ЧПЭ – чреспищеводная эхокардиография, ЭхоКГ – эхокардиография. * $p < 0,05$ в сравнении с предоперационным значением

сопровождалось повреждением миокарда с выраженным приростом тропонина по сравнению с исходными значениями. В течение первых суток послеоперационного периода регистрировали статистически значимое снижение объемов левого желудочка, измеренных автоматически, и продольного стрейна левого желудочка в сравнении с исследованием накануне операции. При проведении термодилуционных измерений отмечали постепенное повышение СИ к концу операции и первых послеоперационных суток по сравнению с исходными значениями после индукции в анестезию.

Как видно из данных рис. 1, статистически значимая динамика по показателю ФВ получена только при чреспищеводном исследовании в конце операции в сравнении с предоперационным значением ($p = 0,047$) и при автоматическом определении ФВ в конце первых послеоперационных суток в сравнении с исследованием накануне операции ($p < 0,001$). ФВ на амбулаторном этапе и перед выпиской из стационара ($p = 0,343$), как и ФВ_{симпсон} накануне операции и в конце первых послеоперационных суток ($p = 0,752$), не отличались на этапах исследования.

Нижний и верхний пределы согласованности для ФВ, оцененной двумя методами накануне операции, составили -10,4 (95% доверительный интервал (ДИ) -12,8; -7,9) и +19,3 (95% ДИ 16,8; 21,7) при смещении +4,5 для автоматического измерения ФВ, что соответствует процентной ошибке 29,3%. Пределы согласованности для ФВ при исследовании двумя методами в конце первых суток достигли -5,5 (95% ДИ -8,3; -2,8) и 27,4 (95% ДИ 24,7; 30,1) при смещении +10,9, что соответствует процентной ошибке 34,0% (рис. 2). Коэффициенты корреляции для двух методов измерения ФВ составили $\rho = 0,329$ ($p = 0,0004$)

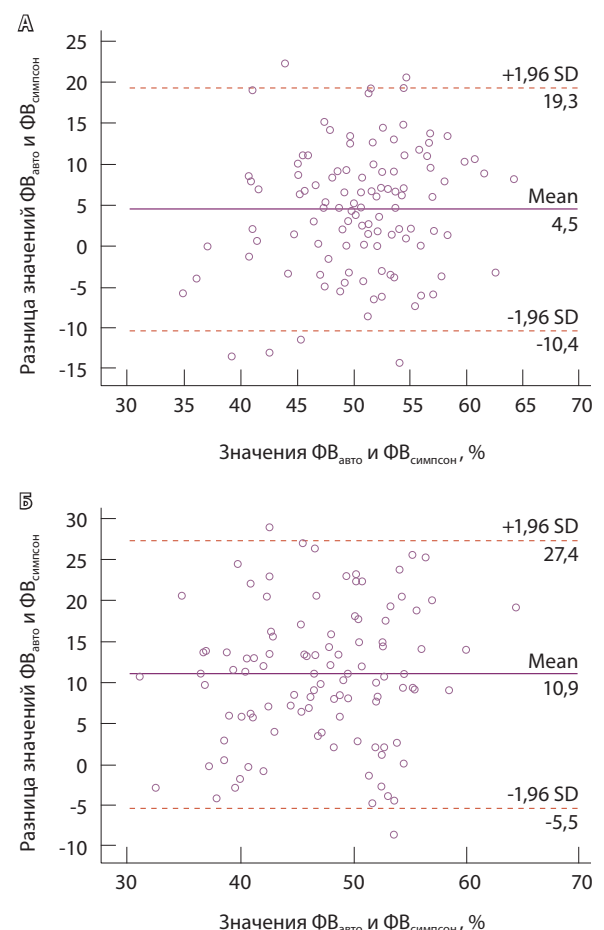


Рис. 2. Диаграммы Бланда – Альтмана для различий в показателях фракции выброса, измеренной автоматически (ФВ_{авто}) и оператором по методу Симпсона (ФВ_{симпсон}) накануне операции (А) и в конце первых послеоперационных суток (Б). Mean – среднее арифметическое значение, SD – стандартное отклонение



накануне операции и $\rho = 0,413$ ($p < 0,0001$) в конце первых послеоперационных суток.

При оценке частоты сердечных сокращений (ЧСС) в начале операции во время проведения термодилуции и эхокардиографических измерений

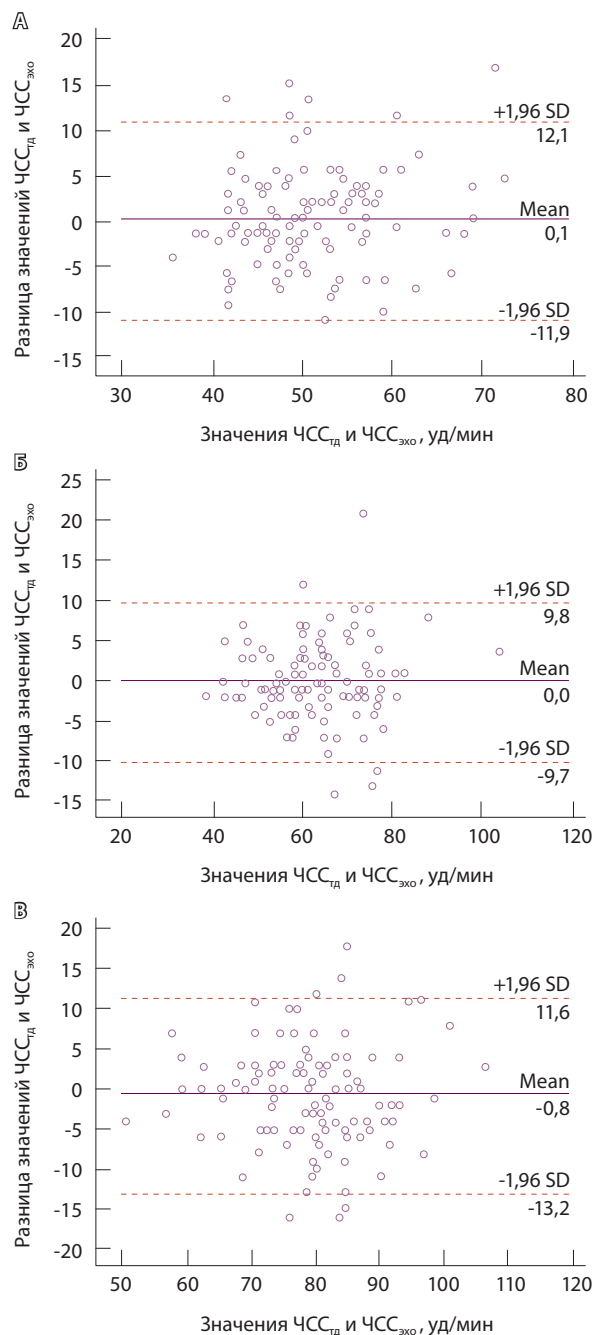


Рис. 3. Диаграммы Бланда – Альтмана для различий в показателях частоты сердечных сокращений, фиксированных при проведении термодилуции (ЧСС_{терм}) и при эхокардиографии (ЧСС_{эхо}) на этапах начала операции (А), в конце операции (Б) и в конце первых послеоперационных суток (В). Mean – среднее арифметическое значение, SD – стандартное отклонение

пределы согласованности были -11,6 (95% ДИ -13,5; -9,7) и 11,4 (95% ДИ 9,5; 13,3) при смещении -0,1 и ошибке 27,4%. В конце операции пределы согласованности определения ЧСС находились на уровне -9,1 (95% ДИ -10,6; -7,6) и 8,8 (95% ДИ 7,3; 10,3) при смещении -0,2 и ошибке 13,9%. В конце первых послеоперационных суток пределы согласованности достигли -12,9 (95% ДИ -14,9; -10,9) и 10,9 (95% ДИ 9,0; 12,9) при смещении -1,0 и ошибке 16,3% (рис. 3). Корреляции для значений ЧСС перед стернотомией в конце операции и в конце первых послеоперационных суток составили $\rho = 0,669$ ($p < 0,0001$), $\rho = 0,892$ ($p < 0,0001$) и $\rho = 0,750$ ($p < 0,0001$) соответственно.

Корреляционные связи между различными методами определения ФВ до операции не достигли уровня статистической значимости или характеризовались низкими коэффициентами корреляции ($\rho < 0,5$), кроме GLS и ФВ_{авто} ($\rho = -0,791$; $p < 0,001$). В послеоперационном периоде также выявлена значимая корреляция только показателей ФВ_{авто} и GLS ($\rho = -0,723$; $p < 0,001$). Корреляционной зависимости ФВ или GLS от СИ на соответствующих этапах не установлено ($p > 0,05$).

Пределы согласованности ИУО, измеренного с помощью термодилуции и ЭхоКГ, в конце первых послеоперационных суток (индексированная на площадь поверхность тела разница КДО и КСО) в тесте Бланда – Альтмана составили -27,6 (95% ДИ -30,1; -25,0) и 3,3 (95% ДИ 0,8; 5,8) при смещении -12,1, что соответствует ошибке 11%; $\rho = 0,301$ ($p = 0,001$) (рис. 4). Корреляции показателя

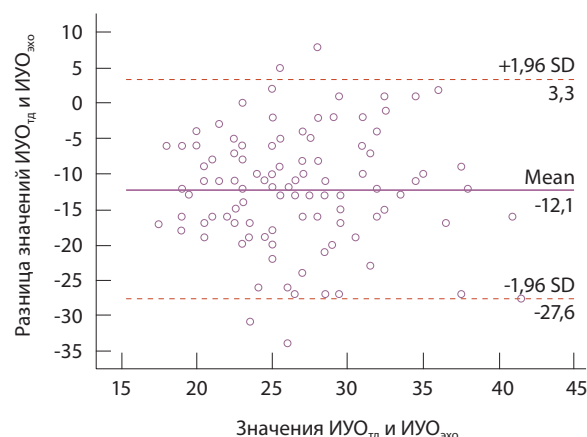


Рис. 4. Диаграмма Бланда – Альтмана для различий в показателях индекса ударного объема, полученных при термодилуции (ИУО_{терм}) и при эхокардиографии (ИУО_{эхо}) в конце первых послеоперационных суток. Mean – среднее арифметическое значение, SD – стандартное отклонение



интегральной скорости потока в выходном тракте левого желудочка с ИУО, измеренным термодилуционным и эхокардиографическим методами, в конце первых послеоперационных суток были соответственно $\rho = 0,153$ ($p = 0,105$) и $\rho = -0,037$ ($p = 0,695$).

Обсуждение

В нашем исследовании динамика ФВ в периоперационном периоде АКШ отличалась в зависимости от выбранного метода ее оценки. Разницы показателей ФВ, измеренной в амбулаторных условиях и при выписке из стационара, не наблюдалось. Это может быть обусловлено гетерогенностью эхокардиографических методов, а также разным уровнем компетенций специалистов и качеством сканеров на амбулаторном и стационарном этапах, что безусловно влияет на точность измеренных параметров. Так, в ходе недавно проведенного опроса специалистов функциональной диагностики установлено: 76,1% из них измеряют ФВ методом Тейхольца, а 83,2% – методом Симпсона, при этом 20,6% специалистов пользуются только методом Тейхольца, 13,5% – только методом Симпсона и 62,6% – обоими способами, что напрямую противоречит современным требованиям [15]. Причиной недостоверности оценки систолической функции сердца при успешной реваскуляризации может быть и то, что тяжесть течения сердечной недостаточности не зависит от ФВ – это подтверждено данными исследования Эпоха-РФ [3]. Таким образом, снижение выраженности сердечной недостаточности совсем не обязательно ассоциируется с улучшением ФВ. Этим объясняется отсутствие в нашем исследовании динамики ФВ, оцененной по методу Симпсона одним специалистом (что исключает ошибку вследствие оператор-зависимости), за двое суток периоперационного периода. Однако с учетом интраоперационного повреждения миокарда без признаков периоперационного инфаркта миокарда, оцененного по динамике тропонина, и снижения показателя продольного стрейна как наиболее чувствительного маркера систолической дисфункции [16, 17] мы вправе говорить о субклинической миокардиальной дисфункции. Отсутствие корреляций GLS с ФВ_{симпсон} вероятно, объясняется низкой чувствительностью данного показателя для оценки миокардиальной дисфункции.

Ограничением нашего исследования следует считать отсутствие клинического сопоставления миокардиального повреждения и исходов операции. При этом все больные к концу

первых послеоперационных суток не получали инотропной/вазопрессорной поддержки и были готовы к переводу в хирургическое отделение. Достоверное периоперационное снижение ФВ_{авто} при умеренной положительной корреляции с показателем GLS позволяет предположить большую точность этого метода измерения в сравнении с традиционным методом Симпсона даже у пациентов реанимационного профиля. Значительная процентная ошибка в тесте Бланда – Алтмана не позволяет равнозначно оценивать эти методы определения ФВ. Вероятным объяснением этому факту служат различия в проведении расчетов – оценка глобальной сократительной функции с дополнительной трассировкой полости левого желудочка в трехкамерной апикальной позиции при автоматическом измерении отличается от классического метода Симпсона, но это позволяет включить в анализ все сегменты левого желудочка, что повышает точность измерений [7, 18]. Прирост ФВ, оцененной при чреспищеводном исследовании в ходе АКШ, предположительно связан с диспропорциональным снижением КСО на фоне ишемии-реперфузии при относительно сохранном КДО. Эти изменения также могут быть обусловлены сниженной постнагрузкой, эффектами анестезиологических препаратов и положительным интраоперационным гидробалансом, что подтверждается динамикой КСО и КДО в периоперационном периоде при автоматическом измерении и согласуется с данными исследований после коронарного шунтирования [19].

Как известно, ФВ в основном зависит от КСО [20, 21], и именно КСО более надежен в определении функции сердца; в связи с этим P.L. Kerkhof и соавт. считают оценку ФВ не иначе как «благословием на ошибку» [22]. Более того, D.Y. Lu и соавт. показали, что в отличие от снижения КСО, отмечаемого у пациентов без атеросклероза коронарных артерий, его повышение при пиковых значениях нагрузки характерно для больных с ишемией миокарда, но при включении КДО в прогностическую модель данная связь теряется [23]. Положительная динамика СИ в периоперационном периоде, зафиксированная в ходе нашего исследования, также укладывается в эту концепцию.

При симптомах сердечной недостаточности на фоне прогрессирования синдрома малого выброса клиницисту необходимо определить фенотип пациента согласно значениям ФВ [24], однако само значение ФВ не дает дополнительной информации о состоянии центральной гемодинамики в настоящий момент. Учитывая, что СИ является более чувствительным показателем для



прогнозирования целого ряда клинических ситуаций, особенно в кардиохирургии и на фоне критических состояний [11], в рамках нашего исследования была оценена динамика СИ и его составляющих – ЧСС и УО. Термодилуционное определение СИ проводили путем подсчета усредненного показателя трех измерений при разнице между ними в значениях СИ менее 10%, а фиксацию ЧСС при проведении ЭхоКГ выполняли вне дополнительной симпатической стимуляции после стабилизации сигнала ЭКГ в течение 20–30 секунд. Была выявлена разница в определении ЧСС при проведении термодилуции и ЭхоКГ, хотя измерения производились последовательно и временной интервал не превышал 5 минут. Большая разница в оценке ЧСС до операции в сравнении со значениями в конце операции и в конце первых послеоперационных суток объясняется нарушением автономной иннервации сердца после выполнения коронарного шунтирования с перикардотомией, что приводит к снижению вариабельности сердечного ритма [25] и, по мнению ряда авторов, может иметь большее влияние на течение сердечной недостаточности, чем перенесенный инфаркт миокарда [26].

Разница в определении ИУО двумя методами, полученная нами, подтверждает результаты других авторов [12] и не позволяет считать

эхокардиографическое определение УО достойной альтернативой термодилуции. Примечательно, что Т. Bombardini и соавт. выделили несколько гемодинамических фенотипов у пациентов с ишемической болезнью сердца с различной степенью хронотропной несостоятельности, недостаточной преднагрузки или контрактильным резервом на основании динамики ЧСС и объемов левого желудочка при стресс-эхокардиографии [27]. Подход может иметь потенциал и в периоперационном периоде АКШ, но данная стратификация требует точности в определении искомых показателей.

Заключение

Значения ФВ в периоперационном периоде АКШ на работающем сердце, определяемые с помощью бипланового метода Симпсона, автоматического алгоритма и чреспищеводного исследования, имеют разнонаправленную динамику. При этом эхокардиографические значения ФВ и УО не соотносятся с термодилуционными показателями ИУО и СИ на этапах периоперационного периода. Таким образом, параметры гемодинамики, определенные эхокардиографическим способом в раннем послеоперационном периоде АКШ, нуждаются в критической оценке, в том числе в сравнении с данными термодилуции. ©

Дополнительная информация

Финансирование

Исследование проведено без привлечения дополнительного финансирования со стороны третьих лиц.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Участие авторов

К.В. Паромов – разработка концепции исследования, сбор и анализ клинического материала, написание текста; А. Хуссейн – статистическая обработка, графическая интерпретация результатов; Л.А. Неледова – статистическая обработка, написание текста; М.Ю. Киров – разработка концепции исследования, редактирование. Все авторы прочли и одобрили финальную версию статьи перед публикацией, согласны нести ответственность за все аспекты работы и гарантируют, что ими надлежащим образом были рассмотрены и решены вопросы, связанные с точностью и добросовестностью всех частей работы.

Список литературы / References

1. Vancheri F, Longo G, Henein MY. Left ventricular ejection fraction: Clinical, pathophysiological, and technical limitations. *Front Cardiovasc Med.* 2024;11:1340708. doi: 10.3389/fcvm.2024.1340708.
2. Liang M, Bian B, Yang Q. Characteristics and long-term prognosis of patients with reduced, mid-range, and preserved ejection fraction: A systemic review and meta-analysis. *Clin Cardiol.* 2022;45(1):5–17. doi: 10.1002/clc.23754.
3. Душина АГ, Лопина ЕА, Либис РА. Особенности хронической сердечной недостаточности в зависимости от фракции выброса левого желудочка. *Российский кардиологический журнал.* 2019;(2):7–11. doi: 10.15829/1560-4071-2019-2-7-11.
4. Dushina AG, Lopina EA, Libis RA. [Features of chronic heart failure depending on the left ventricular ejection fraction]. *Russian Journal of Cardiology.* 2019;(2):7–11. Russian. doi: 10.15829/1560-4071-2019-2-7-11.
5. Pfeffer MA, Shah AM, Borlaug BA. Heart failure with preserved ejection fraction in perspective. *Circ Res.* 2019;124(11):1598–1617. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.119.313572.
6. Minamisawa M, Inciardi RM, Claggett B, Cikes M, Liu L, Prasad N, Biering-Sørensen T, Lam CSP, Shah SJ, Zile MR, O'Meara E, Redfield MM, McMurray JJV, Solomon SD, Shah AM. Clinical implications of subclinical left ventricular dysfunction in heart failure with preserved ejection fraction: The PARAGON-HF study. *Eur J Heart Fail.* 2024;26(4):871–881. doi: 10.1002/ehf.3167.
7. Yan X, Li Y, Liu J, Zhou T, Zhou Y, Sun W, Sun C, Ma J, Zhang L, Shang Y, Xie M. Serial changes in left ventricular myocardial deformation in sepsis or septic shock using three-dimensional and two-dimensional speckle tracking echocardiography. *Front Cardiovasc Med.* 2022;9:925367. doi: 10.3389/fcvm.2022.925367.
8. Sveric KM, Ulbrich S, Dindane Z, Winkler A, Botan R, Mierke J, Trausch A, Heidrich F, Linke A. Improved assessment of left ventricular ejection fraction using artificial intelligence



- in echocardiography: A comparative analysis with cardiac magnetic resonance imaging. *Int J Cardiol.* 2024;394:131383. doi: 10.1016/j.ijcard.2023.131383.
8. Kerkhof PLM, Heyndrickx GR, Diaz-Navarro RA, Antohi EL, Mihaileanu S, Handly N. Ventricular and atrial ejection fractions are associated with mean compartmental cavity volume in cardiac disease. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2022;2022:1384–1387. doi: 10.1109/EMBC48229.2022.9871315.
9. Marwick TH. Ejection fraction pros and cons: JACC state-of-the-art review. *J Am Coll Cardiol.* 2018;72(19):2360–2379. doi: 10.1016/j.jacc.2018.08.2162.
10. Ibe T, Wada H, Sakakura K, Ugata Y, Maki H, Yamamoto K, Seguchi M, Taniguchi Y, Jinnouchi H, Fujita H. Cardiac index predicts long-term outcomes in patients with heart failure. *PLoS One.* 2021;16(6):e0252833. doi: 10.1371/journal.pone.0252833.
11. Zhang Y, Zhu Y, Wang D, Xu L, Jiang W, Wang J, Sun X, Kang L, Song L. Cardiac index: A superior parameter of cardiac function than left ventricular ejection fraction in risk stratification of hypertrophic cardiomyopathy. *Heart Rhythm.* 2023;20(7):958–967. doi: 10.1016/j.hrthm.2023.02.028.
12. Maeder MT, Karapanagiotidis S, Dewar EM, Kaye DM. Accuracy of echocardiographic cardiac index assessment in subjects with preserved left ventricular ejection fraction. *Echocardiography.* 2015;32(11):1628–1638. doi: 10.1111/echo.12928.
13. Паромов КВ, Волков ДА, Низовцев НВ, Киров МЮ. Функция миокарда после коронарного шунтирования на работающем сердце в условиях комбинированной эпидуральной и ингаляционной анестезии. *Вестник анестезиологии и реаниматологии.* 2020;17(5):6–14. doi: 10.21292/2078-5658-2020-17-5-6-14. Paromov KV, Volkov DA, Nizovtsev NV, Kirov MYu. [Myocardial function after off-pump coronary artery bypass grafting with combined epidural and inhalation anesthesia]. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation.* 2020;17(5):6–14. Russian. doi: 10.21292/2078-5658-2020-17-5-6-14.
14. Паромов КВ, Сви́рский ДА, Хуссейн А, Неледова ЛА, Киров МЮ. Влияние регионарной анестезии на производительность левого и правого желудочков сердца после коронарного шунтирования на работающем сердце: рандомизированное контролируемое исследование. *Вестник анестезиологии и реаниматологии.* 2024;21(4):19–31. doi: 10.24884/2078-5658-2024-21-4-19-31. Paromov KV, Svirskii DA, Hussain A, Neledova LA, Kirov MYu. [Impact of regional anesthesia on left and right ventricular performance after off-pump coronary artery bypass grafting: Randomized controlled study]. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation.* 2024;21(4):19–31. Russian. doi: 10.24884/2078-5658-2024-21-4-19-31.
15. Иванова АА, Джioева ОН, Лавренова ЕА, Рогожкина ЕА, Драпкина ОМ. Сложные вопросы диагностики сердечной недостаточности с сохраненной фракцией выброса: фокус на эхокардиографические исследования. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика.* 2023;22(5):3565. doi: 10.15829/1728-8800-2023-3565. Ivanova AA, Dzhioeva ON, Lavrenova EA, Rogozhkina EA, Drapkina OM. [Diagnostic challenges of heart failure with preserved ejection fraction: Focus on echocardiography]. *Cardiovascular Therapy and Prevention.* 2023;22(5):3565. Russian. doi: 10.15829/1728-8800-2023-3565.
16. Утина ТГ, Акашева ДУ, Корсунский ДВ, Драпкина ОМ. Значение стандартной и спекл-трекинговой эхокардиографии для ранней диагностики бессимптомной дисфункции миокарда левого желудочка при сахарном диабете 2 типа. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика.* 2023;22(1):3478. doi: 10.15829/1728-8800-2023-3478. Utina TG, Akasheva DU, Korsunsky DV, Drapkina OM. [Significance of standard and speckle-tracking echocardiography for early diagnosis of asymptomatic left ventricular dysfunction in type 2 diabetes]. *Cardiovascular Therapy and Prevention.* 2023;22(1):3478. Russian. doi: 10.15829/1728-8800-2023-3478.
17. Dell'Angela L, Nicolosi GL. From ejection fraction, to myocardial strain, and myocardial work in echocardiography: Clinical impact and controversies. *Echocardiography.* 2024;41(1):e15758. doi: 10.1111/echo.15758.
18. Maret E, Brudin L, Lindstrom L, Nylander E, Ohlsson JL, Engvall JE. Computer-assisted determination of left ventricular endocardial borders reduces variability in the echocardiographic assessment of ejection fraction. *Cardiovasc Ultrasound.* 2008;6:55. doi: 10.1186/1476-7120-6-55.
19. Ren M, Tian JW, Leng XP, Wang HM, Wang Y, Wang ZZ. Assessment of global and regional left ventricular function after surgical revascularization in patients with coronary artery disease by real-time triplane echocardiography. *J Ultrasound Med.* 2009;28(9):1175–1184. doi: 10.7863/jum.2009.28.9.1175.
20. Kerkhof PLM, Yoo BW, Merillon JP, Peace RA, Handly N. Monte Carlo method applied to the evaluation of the relationship between ejection fraction and its constituent components. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2017;2017:1295–1298. doi: 10.1109/EMBC.2017.8037069.
21. Kerkhof PLM, van de Ven PM, Yoo B, Peace RA, Heyndrickx GR, Handly N. Ejection fraction as related to basic components in the left and right ventricular volume domains. *Int J Cardiol.* 2018;255:105–110. doi: 10.1016/j.ijcard.2017.09.019.
22. Kerkhof PL, Díaz-Navarro R, Heyndrickx GR, Handly N. La serendipia en torno la fracción de eyección: una revisión de la historia, la casualidad y la cuasi-funcionalidad de una métrica aplaudida [A critical analysis of ejection fraction]. *Rev Med Chil.* 2022;150(2):232–240. Spanish. doi: 10.4067/S0034-98872022000200232.
23. Lu DY, Beyer AT, Pursnani SK, Shaw RE, Fang Q, Bibby D, Rosenblatt A, Schiller NB. Left ventricular end-systolic volume response post-stress echocardiography: Dilation as a marker of multi-vessel coronary artery disease. *Echocardiography.* 2022;39(2):215–222. doi: 10.1111/echo.15291.
24. Заболотских ИБ, Баутин АЕ, Замятин МН, Лебединский КМ, Потиевская ВИ, Трембач НВ. Периоперационное ведение пациентов с хронической сердечной недостаточностью. *Анестезиология и реаниматология.* 2021;3(3):6–27. doi: 10.17116/anaesthesiology20210316. Zabolotskikh IB, Bautin AE, Zamyatin MN, Lebedinskii KM, Potievskaya VI, Trembach NV. [Perioperative management of patients with heart failure]. *Russian Journal of Anesthesiology and Reanimatology.* 2021;3(3):6–27. Russian. doi: 10.17116/anaesthesiology20210316.
25. Pantoni CB, Mendes RG, Di Thommazo-Luporini L, Simões RP, Amaral-Neto O, Arena R, Guizilini S, Gomes WJ, Catai AM, Borghi-Silva A. Recovery of linear and nonlinear heart rate dynamics after coronary artery bypass grafting surgery. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2014;34(6):449–456. doi: 10.1111/cpf.12115.
26. Ghardashi-Afousi A, Holisaz MT, Shirvani H, Pishgoo B. The effects of low-volume high-intensity interval versus moderate intensity continuous training on heart rate variability, and hemodynamic and echocardiography indices in men after coronary artery bypass grafting: A randomized clinical trial study. *ARYA Atheroscler.* 2018;14(6):260–271. doi: 10.22122/arya.v14i6.1781.
27. Bombardini T, Zagatina A, Ciampi Q, Arbucci R, Merlo PM, Haber DML, Morrone D, D'Andrea A, Djordjevic-Dikic A, Beleslin B, Tesic M, Boskovic N, Giga V, de Castro E Silva Pretto JL, Daros CB, Amor M, Mosto H, Salamè M, Monte I, Citro R, Simova I, Samardjeva M, Wierzbowska-Drabik K, Kasprzak JD, Gaibazzi N, Cortigiani L, Scali MC, Pepi M, Antonini-Canterin F, Torres MAR, Nes M, Ostojic M, Carpeggiani C, Kovačević-Preradović T, Lowenstein J, Arruda-Olson AM, Pellicka PA, Picano E, on behalf of the Stress Echo Study Group of the Italian Society of Cardiovascular Imaging. Hemodynamic heterogeneity of reduced cardiac reserve unmasked by volumetric exercise echocardiography. *J Clin Med.* 2021;10(13):2906. doi: 10.3390/jcm10132906.



The ejection fraction and the cardiac index in the perioperative period of coronary artery bypass grafting: what is worth relying on?

K.V. Paromov¹ • A. Hussain^{1,2} • L.A. Neledova^{1,2} • M.Yu. Kirov^{1,2}

Rationale: Ejection fraction (EF) has been recognized as a key echocardiographic parameter describing the systolic function of the heart. Nevertheless, its accuracy for the assessment of the hemodynamic status in the perioperative period of cardiac surgery remains a debate.

Aim: To compare the EF values assessed by different techniques and to map those against the left ventricular systolic function parameters in the perioperative period of the off-pump coronary artery bypass grafting (OPCABG).

Methods: We performed a post hoc analysis of two consequential randomized studies. EF was assessed with echocardiography in 115 patients in the perioperative period of OPCABG and its changes over time at the following timepoints: before admission to the hospital ($EF_{screening}$), on the day before surgery ($EF_{simpson}$) (transthoracic approach), before sternotomy, at the end of the surgery (transesophageal echocardiography, TEE), as well as at the end of the first postoperative day (POD1) and before discharge from the hospital (transthoracic approach). Preoperatively and at the end of POD1, the EF values were compared with those of the global longitudinal strain (GLS) and with the EF measured automatically (EF_{auto} QLAB 10.0), as well as with hemodynamic parameters measured by thermodilution (TD), such as cardiac index (CI) and stroke volume index (SVI).

Results: There were no postoperative changes in the $EF_{screening}$ and $EF_{simpson}$ values. EF_{auto} decreased from 48.4 ± 6.4 to $41.6 \pm 7.3\%$ ($p < 0.001$), while EF_{tee}

increased from $49.7 [46.0; 57.0]$ to $53.0 [46.1; 58.1]\%$ ($p = 0.047$) and was associated with a decrease in GLS from -14.6 ± 2.5 to $-11.7 \pm 2.6\%$ ($p < 0.001$). The bias in the measurement of $EF_{simpson}$ and EF_{auto} assessed a day before surgery and on POD1 according to the Bland-Altman test was 29.3% and 34.0%. There was a correlation between GLS and EF_{auto} preoperatively ($\rho = -0.791$, $p < 0.001$) and on the POD1 ($\rho = -0.723$, $p < 0.001$), while $EF_{screening}$ and $EF_{simpson}$ did not show such a correlation. There was no correlation of EF or GLS with CI, as well. The bias in the measurement of the SVI_{td} and SVI_{echo} values was 11% ($\rho = 0.301$, $p = 0.001$).

Conclusion: The echocardiographic assessment of the EF in the perioperative period of OPCABG does not characterize the systolic function of the heart reliably and depends on the method of its measurement. These limitations of echocardiographic parameters require their critical evaluation, including a comparison with thermodilution variables.

Key words: echocardiography, hemodynamic monitoring, stroke volume, ejection fraction

For citation: Paromov KV, Hussain A, Neledova LA, Kirov MYu. The ejection fraction and the cardiac index in the perioperative period of coronary artery bypass grafting: what is worth relying on? Almanac of Clinical Medicine. 2025;53(2):53–61. doi: 10.18786/2072-0505-2025-53-007.

Received 12 February 2025; revised 23 March 2025; accepted 1 April 2025; published online 11 April 2025

Konstantin V. Paromov – MD, PhD, Anaesthetist & Critical Care Specialist, Department of Anesthesiology and Resuscitation No. 2; Functional Diagnostics Doctor, Functional Diagnostics Department No. 3¹; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5138-3617>

✉ Ul. Suvorova, 1, Arkhangelsk, 163001, Russian Federation. E-mail: kp-82@mail.ru

Ayyaz Hussain – MD, PhD, Associate Professor, Department of Anesthesiology and Intensive Care²; Anaesthetist & Critical Care Specialist, Department of Anesthesiology and Resuscitation, Regional Vascular Center¹; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1476-3693>. E-mail: ayyaz@mail.ru

Lyudmila A. Neledova – MD, PhD, Assistant Professor, Institute of Surgery²; Surgeon, 7th Surgical Department¹; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3432-2951>. E-mail: neluda85@mail.ru

Mikhail Yu. Kirov – MD, PhD, Professor, Corr. Member of Russ. Acad. Sci., Head of Department of Anesthesiology and Intensive Care²; Anaesthetist & Critical Care Specialist, Intensive Care Unit¹; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4375-3374>. E-mail: mikhail_kirov@hotmail.com

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Authors' contribution

K.V. Paromov, the study concept, data collection and analysis, text writing; A. Hussain, statistical analysis, graphic interpretation of the results; L.A. Neledova, statistical analysis, text writing; M.Yu. Kirov, the study concept, text editing. All the authors have read and approved the final version of the manuscript before submission, agreed to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work have been appropriately investigated and resolved.

¹ First City Clinical Hospital named after E.E. Volosevich; ul. Suvorova, 1, Arkhangelsk, 163001, Russian Federation

² Northern State Medical University; Troitsky pr., 51, Arkhangelsk, 163069, Russian Federation