

УДК 616.123-005.4-089.86-089.17

DOI: 10.34215/1609-1175-2020-1-16-22

# Информативность гемодинамических индикаторов у пациентов с ишемической болезнью сердца в прогнозировании результатов аорто-коронарного шунтирования

В.Ю. Рублев<sup>1, 2</sup>, Е.А. Сергеев<sup>1</sup>, Б.И. Гельцер<sup>1</sup><sup>1</sup> Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия;<sup>2</sup> Приморская краевая клиническая больница № 1, Владивосток, Россия

Представлен анализ литературы, посвященный оценке предиктивной значимости гемодинамических показателей для прогнозирования ближайших и отдаленных результатов аортокоронарного шунтирования (АКШ). Рассмотрены современные варианты гемодинамического и волюметрического мониторинга, в том числе: чреспищеводная эхокардиография, препульмональная, транспульмональная термодилуция, а также другие методы, основанные на оценке времени транзита пульсовой волны. Обсуждается информативность отдельных параметров гемодинамики для оптимизации ранней диагностики, профилактики и интенсивной терапии сердечно-сосудистых событий, ассоциированных с АКШ. Обобщены данные о стратификации рисков послеоперационных осложнений и смертности, основанные на анализе предиктивной ценности гемодинамических параметров. Анализируются варианты комплексного применения методов гемодинамического мониторинга и технологий искусственного интеллекта для разработки автоматизированных систем для прогнозирования ближайших и отдаленных результатов АКШ.

**Ключевые слова:** гемодинамический мониторинг, ишемическая болезнь сердца, аортокоронарное шунтирование, предикторы осложнений

Поступила в редакцию 13.09.2019 г. Принята к печати 23.12.2019 г.

**Для цитирования:** Рублев В.Ю., Сергеев Е.А., Гельцер Б.И. Информативность гемодинамических индикаторов у пациентов с ишемической болезнью сердца в прогнозировании результатов аорто-коронарного шунтирования. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2020;1:16–22. doi: 10.34215/1609-1175-2020-1-16-22

**Для корреспонденции:** Рублев Владислав Юрьевич – врач ПМКБ № 1, аспирант Школы биомедицины ДВФУ (690920, г. Владивосток, пос. Аякс, 10/25), ORCID: 0000-0001-7620-4454; e-mail: dr.rublev.v@gmail.com

## Hemodynamic indicators informativity in ischemic heart disease patients for forecasting results of coronary artery bypass grafting

V.Y. Rublev<sup>1, 2</sup>, E.A. Sergeev<sup>1</sup>, B.I. Geltser<sup>1</sup><sup>1</sup> Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia; <sup>2</sup> Primorsky Regional Clinical Hospital No. 1, Vladivostok, Russia

**Summary:** The review presents an analysis of the scientific literature on the assessment of the predictive value of hemodynamic parameters for predicting the immediate and long-term results of coronary artery bypass grafting (CABG). Modern options for hemodynamic and volumetric monitoring are considered, including transesophageal echocardiography, prepulmonary, transpulmonary thermodilution, as well as other methods based on estimation of pulse wave transit time. The information content of individual hemodynamic parameters is discussed to optimize the early diagnosis, prevention and intensive care of cardiovascular events associated with CABG. The scientific literature on stratification of the risks of postoperative complications and mortality based on the analysis of the predictive value of hemodynamic parameters is generalized. Variants of the integrated application of hemodynamic monitoring methods and artificial intelligence technologies for the development of automated systems for predicting the near and long-term results of CABG are analyzed.

**Keywords:** hemodynamics, coronary heart disease, coronary artery bypass grafting, complication predictors

Received: 13 September 2019; Accepted: 23 December 2019

**For citation:** Rublev VY, Sergeev EA, Geltser BI. Hemodynamic indicators informativity in ischemic heart disease patients for forecasting results of coronary artery bypass grafting. *Pacific Medical Journal*. 2020;1:16–22. doi: 10.34215/1609-1175-2020-1-16-22

**Corresponding author:** Vladislav Y. Rublev, MD, postgraduate student, Biomedicine School, Far Eastern Federal University (10/25 Ayaks, Vladivostok, 690920, Russian Federation); ORCID: 0000-0001-7620-4454; e-mail: dr.rublev.v@gmail.com

Ишемическая болезнь сердца (ИБС) – одна из основных причин инвалидизации и смертности населения в большинстве стран мира. В Российской Федерации несмотря на реализацию программ профилактики и лечения доля ИБС в общей структуре болезней сердечно-сосудистой системы находится на уровне 59 %

[1]. Согласно данным Американской ассоциации сердца (АНА), в 2019 г. число страдавших ИБС среди населения США составляло 18,2 млн человек [2].

В последние годы совершенствование методов диагностики, хирургических технологий и анестезиологического обеспечения позволило достичь значительных

успехов в повышении результативности коронарной хирургии. Операции аортокоронарного шунтирования (АКШ) стали одним из самых распространенных видов хирургического лечения ИБС, с помощью которых достигают восстановления адекватного кровоснабжения миокарда и увеличивают продолжительность и качество жизни пациентов. По данным АНА, госпитальная летальность после изолированного АКШ составляет 1–3 % среди пациентов моложе 70 лет и 5–6 % – среди пациентов старше 70 лет. При этом уровень летальности при комбинированных кардиохирургических вмешательствах достигает 6 % вне зависимости от возраста больных [3]. Как и любая операция, АКШ может сопровождаться осложнениями, чаще всего со стороны сердечно-сосудистой системы (40 %), органов дыхания (34 %) и послеоперационных ран (23 %) [4]. «Классическими» вариантами этих осложнений считаются нарушения сердечного ритма, периоперационный инфаркт миокарда, цереброваскулярные расстройства, нарушение функции почек, нозокомиальные пневмонии, раневые инфекции, диастаз грудины [5]. По свидетельству ряда авторов, частота различных осложнений АКШ неврологического профиля варьирует от 0,8 до 15 %, а ишемический инсульт со значимым неврологическим дефицитом диагностируют у 2–6 % оперированных, причем около 70 % цереброваскулярных событий развиваются интраоперационно [6].

Послеоперационные осложнения увеличивают продолжительность пребывания пациентов в стационаре, способствуют повторным госпитализациям в отделения интенсивной терапии (около 5 % случаев после АКШ) и увеличивают риск неблагоприятных сердечно-сосудистых событий в отдаленном периоде [7, 8]. Высокий уровень осложнений после АКШ обусловлен тяжестью соматического состояния больных до операции, сложностью хирургического вмешательства на коронарных артериях и необходимостью применения в большинстве случаев искусственного кровообращения.

В настоящее время для прогнозирования результатов АКШ используют различные предикторы, содержащие информацию об объемах и видах хирургических вмешательств, вариантах анестезиологических пособий и интенсивной терапии, возрасте, гендерной принадлежности, антропометрических данных, распространенности атеросклеротического поражения коронарного русла, профиле и тяжести коморбидной патологии [7, 9]. К одним из наиболее перспективных и информативных предикторов непосредственных и отдаленных результатов АКШ относят показатели кардиогемодинамики. В ряде работ с помощью технологий искусственного интеллекта разработаны прогностические модели для расчета рисков смертности и вероятности осложнений. Для верификации рисков у лиц с острым коронарным синдромом применяют различные стратификационные модели: TIMI, GRACE, PURSUIT, TIMI II, CADILLAC и др. У пациентов

с ИБС перед АКШ дополнительно используют шкалы EUROSCORE II, SYNTAX Score [10].

Основная цель гемодинамического мониторинга в сердечно-сосудистой хирургии состоит в получении своевременной информации о тканевой потребности в кислороде и его реальной доставке, функциональном статусе гемодинамики и других факторах кровообращения. Показано, например, что смешанная венозная оксигенация крови ( $S_vO_2$ ) на уровне 60 % и менее при АКШ увеличивает риск 30-дневной летальности на 5,4 % и чаще сопровождается послеоперационными осложнениями: инфарктом миокарда, острой почечной недостаточностью, ишемическим инсультом, кровотечениями, длительной искусственной вентиляцией легких [12]. Именно поэтому внедрение лечебных алгоритмов, базирующихся на результатах гемодинамического мониторинга, обеспечивает проведение патогенетически обоснованной интенсивной терапии и существенно снижает риск острых сердечно-сосудистых событий [13].

В настоящее время клиницистам предоставлен достаточно широкий спектр модальностей для периоперационного мониторинга гемодинамических параметров, позволяющих верифицировать текущий циркуляторный статус пациента и осуществлять его своевременную коррекцию. В последние годы основным направлением развития интенсивной терапии стал постепенный переход к менее инвазивным системам контроля за физиологическими функциями. Несмотря на значительный арсенал диагностических средств до настоящего времени не существует «идеального» неинвазивного метода оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы.

Эхокардиография (ЭхоКГ), в том числе тканевая доплерография в ранние сроки после АКШ позволяет детально изучить функциональное состояние миокарда и определить патогенетические особенности сердечной недостаточности. Так, наличие деформации межжелудочковой перегородки и свободной стенки правого желудочка при анализе пространственного смещения спектров независимо ассоциировано с увеличением отношения шансов развития правожелудочковой дисфункции после операции [14]. Показано, что в группе пациентов с осложненным течением послеоперационного периода АКШ чаще регистрируются низкие объемные характеристики левого желудочка (ЛЖ). К предикторам неблагоприятного исхода относят и значения индексов конечного диастолического объема ЛЖ менее 44,9 мл/м<sup>2</sup>, конечного систолического объема – менее 22,7 мл/м<sup>2</sup>, ударного и сердечного индексов – менее 22,3 мл/м<sup>2</sup> и 2 л/мин/м<sup>2</sup>, соответственно, а также диастолическую дисфункцию ЛЖ по рестриктивному типу [3]. Установлено, что при конечном диастолическом объеме ЛЖ более 150 мл, риск смерти после АКШ увеличивается в 2,3 раза. При исходной толщине миокарда задней стенки ЛЖ более 1,4 см вероятность госпитальных осложнений возрастает в 7,78

раза, что указывает на роль гипертрофических форм ремоделирования сердца в развитии неблагоприятных исходов заболевания [15].

ЭхоКГ считается основным методом диагностики выпота в полости перикарда и плевры, который выявляют у 24 % пациентов после АКШ [3]. Доказано, что снижение фракции выброса после реваскуляризации увеличивает длительность госпитализации и частоту послеоперационных осложнений. При фракции выброса ниже 50 % риск сердечно-сосудистых осложнений возрастает в 1,6 раза, ниже 30 % – в 11 раз. При сочетании фракции выброса ЛЖ менее 35 % и суммарной оценки по шкале EuroScore II более 6 баллов вероятность периоперационных осложнений повышается в два раза [16]. Ряд авторов отметил проблему использования фракции выброса в качестве маркера систолической дисфункции сердца ввиду отсутствия ее корреляций с показателями ударного и сердечного индексов и невозможности измерения при блокаде левой ножки пучка Гиса, нарушениях ритма сердца и диссинхронии [3]. Кроме того, этот параметр не отражает состояние диастолической функции и преднагрузки ЛЖ, в связи с чем его клиническая оценка должна дополняться результатами других методов исследования [14, 16].

Сердечная недостаточность со сниженной фракцией выброса ЛЖ встречается у 36 % госпитализированных с ИБС, и она чаще всего обусловлена систолической дисфункцией миокарда на фоне ишемической кардиомиопатии [17, 18]. К одному из интегральных показателей, характеризующих систолическую и диастолическую функции ЛЖ, относится индекс производительности миокарда (Tei-индекс) [19]. Этот индекс практически не зависит от условий пред- и постнагрузки на миокард, тесно коррелирует с функциональным классом сердечной недостаточности, толерантностью к физической нагрузке и считается независимым предиктором летальных исходов после АКШ [20]. Наиболее частым вариантом нарушений диастолической функции ЛЖ у лиц с ИБС становится его недостаточная релаксация (ригидный тип), которую регистрируют у 80 % пациентов без инфаркта миокарда и у 52,2 % пациентов, перенесших инфаркт миокарда. Псевдонормальный тип диастолической дисфункции обнаруживается у 20 % больных без постинфарктного кардиосклероза, в то время как у больных с инфарктом миокарда в анамнезе – в 47,7 % случаев. Было показано, что после реваскуляризации миокарда восстановление его диастолической функции наступает быстрее при исходно ригидном типе по сравнению с псевдонормальным [18, 21, 22].

Отдаленные результаты АКШ напрямую зависят от качества шунтов. Так, развитие недостаточности аутовенозных трансплантатов в первые пять лет после операции фиксировалось приблизительно у 8 % пациентов [7]. До недавнего времени проходимость анастомозов определялась на основе их непосредственной

интраоперационной пальпации и наблюдения за гемодинамическими и электрокардиографическими изменениями на мониторе. В настоящее время существует несколько методов интраоперационного контроля качества шунтов, среди которых наиболее удобным, менее инвазивным и воспроизводимым считается флоуметрия, или TTFM (Transit Time Flow Measurement), выполняемая при помощи специального ультразвукового датчика. Определен ряд гемодинамических параметров, влияющих на отдаленные клинические результаты операции и состоятельность шунтов. Так, значение среднего потока через артериальные и венозные шунты менее 15 мл/мин повышает риск окклюзии шунтов в первый год после операции на 50 %. Риск ранней несостоятельности также увеличивается при определении индекса диастолического наполнения менее 50 % и быстром преобразовании Фурье менее единицы. При показателе индекса пульсации более 3 и индекса обратного систолического потока – 4,1 и выше шунт определяется как технически неадекватный с высокой вероятностью раннего стеноза [23].

Катетер Сван–Ганца, широко применяемый в клинической практике с 1970-х годов, завоевал доверие клиницистов и до недавнего времени считался своеобразным «золотым стандартом» мониторинга кровообращения. Вместе с тем в последние годы в серии рандомизированных исследований было установлено отсутствие преимуществ данного катетера перед другими менее инвазивными средствами мониторинга [24]. В исследовании SUPPORT были получены доказательства увеличения риска 30-дневной летальности при катетеризации правых отделов сердца [25]. Так, летальность пациентов кардиохирургического профиля с ИБС при использовании катетера Сван–Ганца составила 3,5 % по сравнению с 1,7 % в контрольной группе, в том числе за счет специфических осложнений катетеризации: разрыва легочной артерии, клапанных повреждений и пр. [26]. Тем не менее около 70 % врачей в ходе опроса экспертами Общества сердечно-сосудистых анестезиологов США указали на использование технологий катетеризации правых отделов сердца для мониторинга гемодинамики в среднем в 75 % случаев, а в 94 % – они совмещали применение катетера Сван–Ганца с чреспищеводной ЭхоКГ [27].

Чреспищеводная ЭхоКГ – один из наиболее информативных методов исследования кардиогемодинамики у больных кардиохирургического профиля благодаря высокому качеству изображения и возможности получения достоверной информации об анатомии и функции сердца. При помощи чреспищеводной ЭхоКГ анализируются также стандартные показатели, характеризующие функциональное состояние миокарда и клапанного аппарата сердца: конечный диастолический объем, конечный систолический объем, ударный и сердечный индексы, фракция выброса, конечный диастолический размер правого желудочка, расчетное систолическое давление в правом желудочке.

Анализ показателей кардиогемодинамики у больных ИБС, полученных с помощью чреспищеводной ЭхоКГ после реваскуляризации миокарда, позволил выделить предикторы тяжести клинического течения послеоперационного периода. К предикторам благоприятного прогноза относили увеличение насосной функции ЛЖ (конечный диастолический объем – 60–160 мл, конечный систолический объем – 20–75 мл, ударный объем – 60–100 мл), сердечного индекса в диапазоне 2,6–4,2 л/мин/м<sup>2</sup>, отсутствие значимой регургитации на атриовентрикулярных клапанах. К предикторам неблагоприятного течения раннего послеоперационного периода, связанного с левожелудочковой недостаточностью и синдромом малого сердечного выброса, были отнесены: фракция выброса ЛЖ менее 40 %, сердечный индекс менее 2 л/мин/м<sup>2</sup>, увеличение степени митральной недостаточности [28].

Выявляемое с помощью чреспищеводной ЭхоКГ нарушение диастолической функции сердца у больных ИБС относят к надежным индикаторам хронической сердечной недостаточности, который регистрируется, как минимум, у 22 % госпитализированных. Немногочисленные исследования, выполненные без оценки легочного венозного потока, указывали на нормализующее действие АКШ на диастолическую функцию ЛЖ у больных с артериальной гипертензией и крупноочаговым инфарктом миокарда и у пациентов с артериальной гипертензией без инфаркта миокарда в анамнезе [22]. В группе больных – кандидатов на АКШ – с диастолической дисфункцией, перенесших инфаркт миокарда, наблюдались значимое повышение изоволюмического расслабления ЛЖ, снижение уровня систолической антеградной волны и отношения скоростей систолического и диастолического антеградных легочных венозных потоков по сравнению с группой контроля [22]. Признаками правожелудочковой недостаточности, по данным чреспищеводной ЭхоКГ, служат: снижение кинетики свободной стенки правого желудочка, нарастание степени трикуспидальной недостаточности, сочетание низких объемных характеристик ЛЖ с расширением правых отделов сердца. Данные изменения после АКШ считаются характерными для сочетания ИБС с хронической обструктивной болезнью легких. У пациентов с ИБС на фоне неосложненного послеоперационного периода прослеживается тенденция к нормализации объемных характеристик ЛЖ, улучшению его насосной функции (прирост фракции выброса в среднем на 7 %), нормализации ударного и сердечного индексов, отсутствию гемодинамически значимой дисфункции атриовентрикулярных клапанов. Общие предикторы неблагоприятного течения включали в себя снижение насосной функции миокарда (фракция выброса менее 40 %), усиление митральной и/или трикуспидальной недостаточности [27].

Было также показано, что чреспищеводная ЭхоКГ – наиболее чувствительный метод для ранней

диагностики интраоперационного инфаркта миокарда, а обнаружение сегментарных нарушений сократимости ЛЖ в ближайшем послеоперационном периоде служит предиктором неполной реваскуляризации мышцы сердца. Так, своевременная диагностика нарушений локальной сократимости позволяла избежать повторных операций в 16,6 % случаев [29].

Частота фибрилляции предсердий после АКШ составляет около 32 %. Ее наличие ассоциируется с повышением гемодинамической нестабильности и увеличением длительности госпитализации. К наиболее информативным предикторам послеоперационной фибрилляции предсердий относят объем левого предсердия, по данным ЭхоКГ, более 32 мл/м<sup>2</sup>, давление заклинивания в легочной артерии более 10,4 мм рт. ст. и систолическое давление легочной артерии более 36 мм рт. ст. [30]. В первые 72 часа после АКШ при центральном венозном давлении более 15 см вод. ст. риск послеоперационной фибрилляции предсердий возрастает на 14,3 % [31]. Увеличение длительности Р-волны более 150 мс на электрокардиограмме ассоциируется почти с пятикратным увеличением риска фибрилляции предсердий в первые сутки после АКШ, что обусловлено замедлением электрической активации за счет объемной перегрузки левого предсердия. Так, положительный гидробаланс (более 400 мл) в раннем послеоперационном периоде чаще сопровождался развитием фибрилляции предсердий [5].

При сочетании АКШ с протезированием аортального клапана к предикторам ранних послеоперационных осложнений относились: снижение фракции выброса ЛЖ менее 30 % (отношение шансов – 11), стеноз аортального клапана с пиковым градиентом давления 80–100 мм рт. ст. (отношение шансов – 5), кардиомегалия с конечным диастолическим объемом левого желудочка более 200 мл (отношение шансов – 2,3) [31]. К предикторам ранних неврологических осложнений помимо послеоперационной фибрилляции предсердий относят выявляемые при чреспищеводной ЭхоКГ мягкие, подвижные и выступающие в просвет дуги аорты атеросклеротические бляшки. Их наличие повышает риск периоперационного ишемического инсульта на 33 % [32].

Большой практический интерес представляют современные методы волюметрического и гемодинамического мониторинга – препульмональная и транспульмональная термодилуция, которые позволяют количественно охарактеризовать сердечный выброс через показатели преднагрузки, сократимости и постнагрузки, и проводить целенаправленную интенсивную терапию путем контроля инфузионной нагрузки, инотропной и вазопрессорной поддержки [13]. К препульмональной термодилуции относится методика с применением катетера Сван-Ганца. С ее помощью осуществляется мониторинг центрального венозного давления, частоты сердечных сокращений, артериального давления и давления в легочной артерии, рассчитываются

индексы системного и легочного сосудистого сопротивления. Анализируя полученные данные, можно проводить патогенетически обоснованную коррекцию волемического статуса. Метод транспульмональной термодилуции дает возможность оценить большее количество параметров по сравнению с препульмональной: глобальный конечный диастолический объем крови, внутригрудной объем крови, объем внесосудистой жидкости в легких, легочный объем крови, конечный диастолический объем правого и левого предсердий и желудочков, индексы вариабельности ударного объема и пульсового давления.

Метод PiCCO (Pulse Contour Cardiac Output) основан на непрерывном мониторинге сердечного выброса путем анализа пульсовой волны и сочетает технологии транспульмональной термодилуции и измерения транзита пульсовой волны. Это обеспечивает двухкомпонентный мониторинг и позволяет оценить объемную преднагрузку, сократительную способность миокарда, постнагрузку, объем внесосудистой жидкости в легких и проницаемость легочных сосудов [32]. К достоинствам данного метода относят отсутствие необходимости катетеризации легочной артерии, возможность непрерывного контроля параметров, оценка изменений которых в динамике позволяет прогнозировать вероятность неблагоприятных сердечно-сосудистых событий [32, 33]. Несмотря на значительное число работ [34–36], в которых доказана информативность метода PiCCO у пациентов кардиохирургического профиля, в последних рандомизированных исследованиях приведены данные о том, что применение этой технологии достоверно не влияет на показатели смертности и риски развития осложнений АКШ. Вместе с тем по сравнению с методом препульмональной термодилуции с использованием катетера Сван–Ганца PiCCO достоверно сокращает время пребывания после АКШ в отделении интенсивной терапии, а также длительность искусственной вентиляции легких [37]. С помощью данного метода показано, что после реваскуляризации миокарда с искусственным кровообращением при исходных значениях глобальной фракции изгнания менее 20 % течение постперфузионного и раннего послеоперационного периодов было менее благоприятным. Доказано, что глобальная фракция изгнания служит более чувствительным индикатором послеоперационной сердечной недостаточности, чем фракция выброса [13]. Увеличение содержания внесосудистой жидкости в легких на отдельных этапах АКШ фиксируется у 46 % пациентов, и это проявляется ухудшением артериальной оксигенации. Диагностика повышения проницаемости легочных капилляров с помощью PiCCO позволяет своевременно корректировать гемодинамику малого круга кровообращения и развитие острого респираторного дистресс-синдрома [13].

Аналогом системы PiCCO считается технология VolumeView, как часть платформы EV1000. Она

относится к системам, требующим калибровки, и предоставляет сопоставимые с PiCCO данные.

В последние годы в клинической практике стал доступным метод мониторинга сердечного выброса esCCO (estimated Continuous Cardiac Output), основанный на оценке времени прохождения пульсовой волны. Результаты непрерывного определения esCCO имеют прямую корреляционную связь средней и высокой интенсивности с данными транс- и препульмональной термодилуции, а также чреспищеводной ЭхоКГ [38].

Метод FloTrac/Vigileo относится к системам пульсового анализа, не требующим калибровки, при этом для измерения сердечного выброса необходима стандартная линия инвазивного артериального давления. Технология основывается на известном физиологическом принципе: ударный объем крови пропорционален пульсовому давлению и растяжимости аорты. Сердечный выброс в этом случае рассчитывается с помощью математического уравнения, включающего данные о поле, возрасте, росте и массе тела больных. В течение последнего десятилетия данный алгоритм претерпел ряд изменений, улучшающих качество и точность определения гемодинамических параметров. Описано, что эта система не совсем точно рассчитывает параметры при сердечном выбросе менее 2,2 л/мин/м<sup>2</sup> и при фракции выброса менее 40 %. Тем не менее у пациентов после АКШ вариативность ударного объема крови, измеренная с помощью FloTrac, позволяет оптимизировать инфузионную терапию. Применение этого метода для поддержания целевых показателей гемодинамики продемонстрировало сокращение сроков пребывания больных после АКШ в отделении интенсивной терапии и уменьшение длительности искусственной вентиляции легких по сравнению с контрольной группой.

Таким образом, данные литературы свидетельствуют о том, что показатели гемодинамики считаются важнейшими прогностическими факторами, характеризующими непосредственные и отдаленные результаты АКШ. В последние годы к наиболее информативным предикторам послеоперационных осложнений относят интегративные показатели вариабельности ударного объема крови и пульсового давления, использование которых позволяет внедрить программы индивидуальной риск-стратификации больных и обеспечить патогенетически обоснованную профилактику и терапию сердечно-сосудистых событий. Несмотря на малую инвазивность современных методов мониторинга целесообразно их комплексное применение, что существенно расширяет диагностические возможности и точность клинического прогноза. Комбинация методов с использованием транспульмональной термодилуции и чреспищеводной ЭхоКГ обладает оптимальным соотношением по информативности и малоинвазивности для пациентов, направляемых на реваскуляризацию миокарда. Профессиональный анализ гемодинамического статуса в пери- и послеоперационном периодах способствует персонализированной оценке факторов

риска, снижает частоту осложнений и сокращает сроки пребывания в стационаре. Использование для этих целей технологий искусственного интеллекта с работой автоматизированных систем обработки данных позволит повысить эффективность управления рисками неблагоприятных исходов хирургической реваскуляризации миокарда.

**Конфликт интересов:** авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Источник финансирования:** работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ в рамках научных проектов 18-29-03131 и 19-29-01-077.

#### Литература / References

1. Бойцов С.А., Калинина А.М., Ипатов П.В. Диспансеризация взрослого населения, как механизм выявления сердечно-сосудистых заболеваний и формирования диспансерного наблюдения. *Вестник Росздравнадзора*. 2015;5:11–18. [Boitsov SA, Kalinina AM, Ipatov PV. Health assessment of the adult population as a mechanism to detect cardiovascular diseases and implementation of follow-up care. *Bulletin of Roszdravnadzor*. 2015;5:11–18 (In Russ).]
2. Benjamin EJ, Muntner P, Alonso A, Bittencourt MS, Callaway CW, Carson AP, et al. Heart disease and stroke statistics – 2019 update: A report from the American Heart Association. *Circulation*. 2019;139:e56–528. doi: 10.1161/CIR.0000000000000659
3. Бокерия Л.А., Сокольская Н.О., Копылова Н.С., Алшибая М.М. Эхокардиографические предикторы тяжести течения раннего послеоперационного периода у больных после хирургической реваскуляризации миокарда. *Анестезиология и реаниматология*. 2015;60(5):8–11. [Bockeria LA, Sokolskaya NO, Kopylova NS, Alshibaya MM. Echocardiographic predictors of the severity of the early postoperative period in patients after surgical myocardial revascularization. *Anesthesiology and Intensive Care*. 2015;60(5):8–11 (In Russ).]
4. Бокерия Л.А., Голухова Е.З., Алекия Б.Г., Шумков К.В., Какучая Т.Т., Медресова А.Т. и др. Непосредственные результаты хирургического и эндоваскулярного лечения больных ишемической болезнью сердца: периоперационные осложнения, факторы риска, прогноз. *Креативная кардиология*. 2011;1:41–60. [Bockeria LA, Goluhova EZ, Alekian BG, Shumkov KV, Kakuchaya TT, Medresova AT, et al. Immediate results of surgical and endovascular treatment of patients with coronary heart disease: perioperative complications, risk factors, prognosis. *Creative Cardiology*. 2011;1:41–60 (In Russ).]
5. Гельцер Б.И., Курпатов И.Г., Котельников В.Н., Заяц Ю.В. Хроническая обструктивная болезнь легких и цереброваскулярные заболевания: структурно-функциональные и клинические аспекты коморбидности. *Терапевтический архив*. 2018;90(3):81–8. [Geltser BI, Kurpatov IG, Kotelnikov VN, Zayats YuV. Chronic obstructive pulmonary disease and cerebrovascular disease: structural, functional and clinical aspects of comorbidity. *Therapeutic Archive*. 2018;90(3):81–8 (In Russ).]
6. Кудашев И.Ф., Сигаев И.Ю. Предикторы неврологических осложнений у больных ишемической болезнью сердца в сочетании с атеросклеротическим поражением брахиоцефальных артерий, направляемых на операцию реваскуляризации миокарда. *Клиническая физиология кровообращения*. 2016;4:192–6. [Kudashev IF, Sigaev IY. Predictors of neurological complications in patients with coronary heart disease in combination with atherosclerotic lesions of the brachiocephalic arteries sent for myocardial revascularization. *Clinical Physiology of Blood Circulation*. 2016;4:192–6 (In Russ).]
7. Litmathe J, Kurt M, Feindt P, Gams E, Boeken U. Predictor and outcome of ICU readmission after cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2009;57(7):391–4.
8. Шкорик Е.В., Маркелова Е.В., Силаев А.А., Гельцер Б.И., Семенихин А.А., Федянина Л.Н. Матриксные металлопротеиназы-1, -8, -9 и риск развития сердечно-сосудистых осложнений у пациентов с ИБС до и после реваскуляризации миокарда. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия*. 2017;61(2):37–45. [Shkorik EV, Markelova EV, Silaev AA, Geltser BI, Semnikhin AA, Fedyanina LN. Matrix metalloproteinases-1, -8, -9 and the risk of development cardiovascular complications in patients with coronary heart disease before and after myocardial revascularization. *Pathological Physiology and Experimental Therapy*. 2017;61(2):37–45 (In Russ).]
9. Гельцер Б.И., Курпатов И.Г., Котельников В.Н., Заяц Ю.В. Коморбидность хронической обструктивной болезни легких и ишемического инсульта. *Клиническая медицина*. 2018;96(1):5–12. [Geltser BI, Kurpatov IG, Kotelnikov VN, Zayats YuV. Comorbidity of chronic obstructive pulmonary disease and ischemic stroke. *Clinical Medicine*. 2018;96(1):5–12 (In Russ).]
10. Ложкина Н.Г., Глебченко Е.А., Хасанова М.Х., Козик В.А., Куимов А.Д. Выделение факторов риска летального исхода у больных с острым коронарным синдромом на госпитальном этапе лечения. *Современные проблемы науки и образования*. 2016;6. [Lozhkina NG, Glebchenko EA, Khasanova MKh, Kozik VA, Kuimov AD. Isolation of risk factors for death in patients with acute coronary syndrome at the hospital stage of treatment. *Modern Problems of Science and Education*. 2016;6 (In Russ).] URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=26026> (Accessed Sept 3, 2019).
11. Kovacs J, Moraru L, Antal K, Cioc A, Voidazan S, Szabo A. Are frailty scales better than anesthesia or surgical scales to determine risk in cardiac surgery? *Korean J Anesthesiol*. 2017;70(2):157–62.
12. Lobo SM, Rezende E, Knibel MF, Silva NB, Páramo JA, Nacul F, et al. Early determinants of death due to multiple organ failure after non cardiac surgery in high-risk patients. *Anesthesia & Analgesia*. 2011;112:877–83.
13. Пешева О.В., Полтавская М.Г., Гиверц И.Ю., Дикур О.Н., Седов В.П., Сыркин А.Л. Проблемы диагностики и эпидемиология хронической сердечной недостаточности. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*. 2014;4:75–83. [Pesheva OV, Poltavskaya MG, Giverts IYu, Dikur ON, Sedov VP, Syркин AL. Diagnostic problems and the epidemiology of chronic heart failure. *Cardiology and Cardiovascular Surgery*. 2014;4:75–83 (In Russ).]
14. Rong LQ, Yum B, Abouzeid C, Palumbo MC, Brouwer LR, Devereux RB, et al. Echocardiographic predictors of intraoperative right ventricular dysfunction: A 2D and speckle tracking echocardiography study. *Cardiovasc Ultrasound*. 2019;17(11). doi: 10.1186/s12947-019-0161-3
15. Зотов А.С., Андреев А.С., Самсонов В.А., Серебрянский Ю.Б., Скворцов А.В. Предикторы ранних послеоперационных осложнений при сочетанных операциях протезирования аортального клапана и аорто-коронарного шунтирования. *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова*. 2014;9(1):18–22. [Zotov AS, Andreyev AS, Samsonov VA, Serebryanskiy UB, Skvorcov AV. Predictors of early postoperative complications in combined operations for aortic valve and coronary artery bypass grafting. *Bulletin of the National N.I. Pirogov Medical and Surgical Center*. 2014;9(1):18–22 (In Russ).]
16. 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):1628–38.
17. Davis RC, Hobbs FDR, Kenkre JE, Roalfe AK, Hare R, Lancashire RJ, Davies MK. Prevalence of left ventricular systolic dysfunction and heart failure in high risk patients: community based epidemiological study. *BMJ*. 2002;325(7373):1156. doi: 10.1136/bmj.325.7373.1156

18. Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, Bueno H, Cleland JGF, Coats AJS, et al. 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC) Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *European Heart Journal*. 2016;37(27):2129–200.
19. Lavine SJ, Al Balbissi K. Adverse cardiac events and the impaired relaxation left ventricular filling pattern. *J Am Soc Echocardiol*. 2016;29(7):699–708.
20. Lakoumentas JA, Panou FK, Kotseroglou VK, Aggeli KI, Harbis PK. The Tei index of myocardial performance: applications in cardiology. *Hellenic Journal of Cardiology*. 2005;46(1):52–8.
21. Sutton MStJ, Wieggers SE. The Tei index – a role in the diagnosis of heart failure? *European Heart Journal*. 2000;21(22):1822–4.
22. Хлопина И.А., Шацова Е.Н., Лупачев В.В., Плакуев А.Н., Черноземова А.В., Кубасов Р.В. Характеристика диастолической функции левого желудочка у больных после аортокоронарного шунтирования. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2015;70(2):196–202. [Khlopina IA, Shatsova EN, Lupachev VV, Pakuev AN, Chernozemova AV, Kubasov RV. Characteristics of left ventricular diastolic function in patients before and after coronary artery bypass grafting. *Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2015;70(2):196–202 (In Russ).]
23. Takami Y, Takagi Y. Roles of transit-time flow measurement for coronary artery bypass surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2018;66(6):426–33.
24. Binanay C, Califf RM, Hasselblad V, O'Connor CM, Shah MR, Sopko G, et al. Evaluation study of congestive heart failure and pulmonary artery catheterization effectiveness: The ESCAPE trial. *JAMA*. 2005;294(13):1625–33.
25. Sandham JD, Hull RD, Brant RF, Knox L, Pineo GF, Doing CJ, et al. A randomized, controlled trial of the use of pulmonary-artery catheters in high-risk surgical patients. Canadian Critical Care Clinical Trials Group. *New Engl J Med*. 2003;348(1):5–14.
26. Connors AF Jr, Speroff T, Dawson NV, Thomas C, Harrell FE Jr, Wagner D, et al. The effectiveness of right heart catheterization in the initial care of critically ill patients. SUPPORT Investigators. *JAMA*. 1996;276(11):889–97.
27. Schwann N, Hillel Z, Hoeft A, Barash P, Möhnle P, Miao Y, Mangano D. Lack of effectiveness of the pulmonary artery catheter in cardiac surgery. *Anesthesia & Analgesia*. 2011;113(5):994–1002.
28. Judge O, Ji F, Fleming N, Liu H. Current use of the pulmonary artery catheter in cardiac surgery: A survey study. *J Cardiothor Vasc An*. 2015;29:69–75.
29. Бокерия Л.А., Алшибая М.М., Мерзляков В.Ю., Сокольская Н.О., Копылова Н.С., Скрипник Е.В. Интраоперационная чреспищеводная эхокардиография у больных с различными формами ишемической болезни сердца. *Клиническая физиология кровообращения*. 2016;13(3):139–47. [Bokeria LA, Alshibaya MM, Merzlyakov VYu, Sokolskaya NO, Kopylova NS, Skripnik EV. Intraoperative transesophageal echocardiography in patients with various forms of coronary heart disease. *Clinical Physiology of Blood Circulation*. 2016;13(3):139–47 (In Russ).]
30. Чичерина Е.Н., Пинегина Ю.В. Факторы, влияющие на исход операции аорто-коронарного шунтирования. *Вятский медицинский вестник*. 2017;2:12–8. [Chicherina EN, Pinegina YuV. Factors affecting the outcome of aorto-coronary bypass surgery. *Vyatka Medical Bulletin*. 2017;2:12–8 (In Russ).]
31. Rongxin Lu, Nan Ma, Zhaolei Jiang, Ju Mei. Haemodynamic parameters predict the risk of atrial fibrillation after cardiac surgery in adults. *Clin Cardiol*. 2017;40(11):1100–4.
32. Кузьков В.В., Киров М.Ю., Паромов К.В., Ленкин А.И. Целенаправленная оптимизация гемодинамики в периоперационном периоде: возможности и перспективы. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2014;18(3):59–66. [Kuzkov VV, Kirov MYu, Paromov KV, Lenkin AI. Goal-oriented optimization of hemodynamics during perioperative period: opportunities and future perspectives. *Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2014;18(3):59–66 (In Russ).]
33. Самохвалов И.М., Гаврилин С.В., Мешаков Д.П., Недомолкин С.В., Бадалов В.И., Суворов В.В. и др. Особенности мониторинга гемодинамики у пострадавших с тяжелой сочетанной травмой. *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. 2015;12(3):34–40. [Samokhvalov IM, Gavrilin SV, Meshakov DP, Nedomolkin SV, Badalov VI, Suvorov VV, et al. Features of monitoring hemodynamics in patients with severe combined trauma. *Bulletin of Anesthesiology and Intensive Care*. 2015;12(3):34–40 (In Russ).]
34. Kirov MY, Lenkin AI, Kuzkov VV, Suborov EV, Slastilin VY, Borodin VV, et al. Single transpulmonary thermodilution in offpump coronary artery bypass grafting: haemodynamic changes and effects of different anaesthetic techniques. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2007;51:426–33.
35. Hamzaoui O, Monnet X, Richard C, Osman D, Chemla D, Teboul JL. Effects of changes in vascular tone on the agreement between pulse contour and transpulmonary thermodilution cardiac output measurements within an up to 6-hour calibration-free period. *Crit Care Med*. 2008;36:434–40.
36. Hendy A, Bubenek S. Pulse waveform hemodynamic monitoring devices: recent advances and the place in goal-directed therapy in cardiac surgical patients. *Rom J Anaesth Int Care*. 2016;23(1):55–65.
37. Smetkin AA, Kirov MY, Kuzkov VV, Lenkin AI, Ereemeev AV, Slastilin VY, et al. Single transpulmonary thermodilution and continuous monitoring of central venous oxygen saturation during off-pump coronary surgery. *Acta Anaesth Scand*. 2009;53:505–51.
38. Кузьков В.В., Орлов М.М., Крючков Д.А., Суборов Е.В., Бьертнес Л.Я., Киров М.Ю. Оценка внесосудистой воды легких во время обширных торакальных вмешательств и в послеоперационном периоде. *Общая реаниматология*. 2012;8(5):31–7 [Kuzkov VV, Orlov MM, Kryuchkov DA, Suborov EV, Byertnes LYa, Kirov MYu. Assessment of extravascular lung water during extensive thoracic interventions and in the postoperative period. *General Resuscitation*. 2012;8(5):31–7 (In Russ).]