



<https://doi.org/10.24060/2076-3093-2021-11-3-228-234>

Особенности обеспечения гемодинамики во время хирургической реваскуляризации миокарда у пациентов с систолической дисфункцией левого желудочка

Харитонов Николай Владимирович —
отделение кардиохирургии,
orcid.org/0000-0002-2630-6505

Вицукаев Виталий Васильевич —
к.м.н., отделение кардиохирургии,
orcid.org/0000-0002-5588-8727

Трофимов Николай Александрович —
д.м.н., кардиохирургическое отделение № 1, кафедра общей хирургии и онкологии, кафедра хирургии,
orcid.org/0000-0002-1975-5521

Макальский Петр Дмитриевич —
отделение кардиохирургии,
orcid.org/0000-0001-6206-9693

Завгородний Вячеслав Николаевич —
отделение кардиохирургии,
orcid.org/0000-0002-4503-1543

Н.В. Харитонов^{1}, В.В. Вицукаев¹, Н.А. Трофимов^{2,3,4,5}, П.Д. Макальский¹, В.Н. Завгородний¹*

¹ Федеральный клинический центр высоких медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства, Россия, Химки

² Республиканский кардиологический диспансер, Россия, Чувашская Республика, Чебоксары

³ Институт усовершенствования врачей, Россия, Чувашская Республика, Чебоксары

⁴ Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования, Россия, Чувашская Республика, Чебоксары

⁵ Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова, Россия, Чувашская Республика, Чебоксары

* **Контакты:** Харитонов Николай Владимирович, e-mail: xariton27@gmail.com

Аннотация

Ишемическая болезнь сердца остается ведущей причиной смерти во всем мире, а коронарное шунтирование остается стандартом медицинской помощи при лечении многососудистого и/или стенового гемодинамически значимого стеноза коронарных артерий. В настоящее время вопрос обеспечения интраоперационной гемодинамики во время операции коронарного шунтирования пациентам со сниженной фракцией выброса остается дискуссионным. Существуют многочисленные исследования в пользу выполнения аортокоронарного шунтирования (АКШ) без использования искусственного кровообращения у пациентов с более высоким риском, чтобы избежать частых осложнений экстракорпорального кровообращения, таких как: необходимость в переливании крови, почечная недостаточность, кровотечения, инфицирование раны, цереброваскулярные события, гуморальные нарушения. С другой стороны, АКШ с искусственным кровообращением и остановка сердца предполагают бескровное операционное поле и позволяют выполнить полную реваскуляризацию в большинстве, часто в очень сложных случаях. Считается, что количество осложнений и результаты коронарного шунтирования на работающем сердце напрямую зависят от опыта хирурга и клиники в проведении таких операций. Поэтому многие хирурги отстраняются от этой методики операции ввиду отсутствия опыта выполнения подобных операций. Данная статья представляет обзор современного состояния проблемы, обсуждение новых систематических исследований по вопросу обеспечения интраоперационной гемодинамики у пациентов со сниженной фракцией выброса левого желудочка и затрагивает обсуждение влияния опыта оперирующего хирурга на исход операции.

Ключевые слова: ишемическая болезнь сердца, аортокоронарное шунтирование, функция левого желудочка, искусственное кровообращение, реваскуляризация миокарда, послеоперационные осложнения, кардиоплегия

Для цитирования: Харитонов Н.В., Вицукаев В.В., Трофимов Н.А., Макальский П.Д., Завгородний В.Н. Особенности обеспечения гемодинамики во время хирургической реваскуляризации миокарда у пациентов с систолической дисфункцией левого желудочка. Креативная хирургия и онкология. 2021;11(3):228–234. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2021-11-3-228-234>

Haemodynamics Support during Surgical Myocardial Revascularisation in Patients with Systolic Left Ventricular Dysfunction

Nikolay V. Kharitonov^{1,*}, Vitaliy V. Vitsukaev¹, Nikolay A. Trofimov^{2,3,4,5}, Petr D. Makalsky¹, Vyacheslav N. Zavgorodny¹

¹ Federal Clinical Centre for Advanced Medical Technologies, Federal Medical and Biological Agency, Khimki, Russian Federation

² Republican Cardiology Dispensary, Cheboksary, Russian Federation

³ Institute of Advanced Medical Training, Cheboksary, Russian Federation

⁴ Federal Centre for Traumatology, Orthopaedics and Endoprosthetics, Cheboksary, Russian Federation

⁵ I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Russian Federation

* **Correspondence to:** Nikolay V. Kharitonov, e-mail: xariton27@gmail. com

Abstract

Coronary heart disease remains a leading cause of death worldwide, and coronary bypass surgery -- the treatment standard in haemodynamically significant multivessel and/or trunk coronary stenosis. Intraoperative haemodynamics support during coronary artery bypass grafting (CABG) in patients with reduced ejection fraction currently remains controversial. Manifold evidence favours CABG with no extracorporeal circulation in higher risk patients to avoid the system's frequent complications of blood transfusion, renal failure, bleeding, wound infection, cerebrovascular events and humoral disturbances. On the other hand, CABG with extracorporeal circulation and heart arrest allows a bloodless operating field and complete revascularisation in most, often very complex, cases. The complication rate and outcome in beating-heart surgery are reckoned to depend directly on the relevant surgeon's and clinic experience, which makes many relinquish the technique due to a limited history of skill. This essay overviews the current state of the art, discussions of recent systematic studies on intraoperative haemodynamics support in patients with reduced left ventricular ejection fraction and touches upon the importance of surgeon's experience for the operation outcome.

Keywords: coronary heart disease, coronary artery bypass grafting, left ventricular function, extracorporeal circulation, myocardial revascularisation, postoperative complication, cardioplaegia

For citation: Kharitonov N.V., Vitsukaev V.V., Trofimov N.A., Makalsky P.D., Zavgorodny V.N. Haemodynamics Support during Surgical Myocardial Revascularisation in Patients with Systolic Left Ventricular Dysfunction. *Creative Surgery and Oncology*. 2021;11(3):228–234. <https://doi.org/10.24060/2076-3093-2021-11-3-228-234>

Nikolay V. Kharitonov —
Department of Cardiac Surgery,
orcid.org/0000-0002-2630-6505

Vitaliy V. Vitsukaev —
Cand. Sci. (Med.), Department
of Cardiac Surgery,
orcid.org/0000-0002-5588-8727

Nikolay A. Trofimov —
Dr. Sci. (Med.), Department
of Cardiac Surgery No. 1,
Department of General Surgery
and Oncology, Department of
Surgery,
orcid.org/0000-0002-1975-5521

Petr D. Makalsky —
Department of Cardiac Surgery,
orcid.org/0000-0001-6206-9693

Vyacheslav N. Zavgorodny —
Department of Cardiac Surgery,
orcid.org/0000-0002-4503-1543

Введение

Ишемическая болезнь сердца остается ведущей причиной смерти во всем мире, а коронарное шунтирование (КШ) остается стандартом медицинской помощи при лечении многососудистого и/или стволового гемодинамически значимого стеноза коронарных артерий [1, 2]. Около 17 миллионов населения Земли ежегодно умирают от болезней системы кровообращения, ведущими из которых являются осложнения ишемической болезни сердца [3].

Современное аортокоронарное шунтирование (АКШ) проводится с 1950-х годов. Однако оперировать на работающем сердце технически сложно. Таким образом, хирургическая реваскуляризация миокарда не была частой операцией в те годы. Несколько десятилетий спустя остановка сердца, вызванная кардиopleгией, и аппаратное искусственное кровообращение (АИК) стали обычным делом в кардиохирургии. К 1970-м годам почти все операции по шунтированию коронарных сосудов выполнялись в условиях кардиopleгии и искусственного кровообращения.

В середине 1990-х годов благодаря техническому прогрессу появились устройства, позволяющие стабилизировать участок миокарда на работающем сердце, это привело к возобновлению интереса к операции без остановки сердечной деятельности, за которым последовало резкое увеличение количества таких процедур. Например, на пике своего развития в 2002 году почти 25 % всех операций коронарного шунтирования в Соединенных Штатах выполнялись без кардиopleгии и искусственного кровообращения. Как правило, на операцию без использования АИК направлялись только относительно стабильные пациенты, с сохранной фракцией выброса левого желудочка (ЛЖ) [4–6].

Пациенты со сниженной фракцией выброса ЛЖ имеют больший риск осложнений, связанных с операцией, чем пациенты с сохранной фракцией выброса ЛЖ [7, 8].

Альтернативные методы лечения таких пациентов ограничены: консервативная терапия в данном случае уступает хирургическому лечению. Чрескожное коронарное вмешательство (PCI) в сравнении с коронарным шунтированием у пациентов с исходно низкой фракцией выброса ЛЖ имеет меньшую выживаемость и большее количество послеоперационных осложнений [9, 10].

Таким образом, подход к лечению у данной категории больных на сегодня — хирургическая реваскуляризация миокарда, однако вопрос обеспечения интраоперационной гемодинамики остается открытым.

OPCAB vs CABG

В 2020 году был опубликован крупный метаанализ, где сравнили аортокоронарное шунтирование (CABG) и аортокоронарное шунтирование на работающем сердце (OPCAB) для пациентов с низкой фракцией выброса. Общая выборка больных составила 32 354 пациента. И было показано, что коронарное шунтирование без ИК имеет преимущество перед операцией с использованием ИК у данной когорты пациентов в плане летальности, неврологических последствий, инфаркта миокарда,

легочных осложнений, нарушения почечной функции, рестернотомии, инфекции и нарушения ритма сердца в раннем послеоперационном периоде [11–13].

Меньшее высвобождение медиаторов воспаления на аппарат (контуры) ИК, отсутствие остановки сердца (кардиopleгии), отсутствие гипотермии, хорошее кровоснабжение субэндокарда и минимально инвазивная процедура без полного пережатия аорты, улучшение кровотока в нативных трансплантатах внутренних грудных артерий делают OPCAB методику почти идеальной техникой для хирургии [14–17].

Многие крупные ретроспективные исследования показали, что у пациентов высокого риска, в т.ч. пациентов со сниженной фракцией выброса, инсульт как осложнение после коронарного шунтирования развивался чаще после использования аппарата искусственного кровообращения и кардиopleгии [18–21]. Аппарат ИК, а также полное пережатие аорты могут привести к церебральной микро- и макроэмболизации, которые являются важными механизмами, лежащими в основе периоперационных инсультов [22, 23]. Соответственно, в неврологическом аспекте OPCAB выгоднее для пациента, чем CABG. Но не стоит забывать, что при кальцинированной аорте даже малоинвазивное боковое отжатие при OPCAB приведет к эмболизации, в таком случае лучшим вариантом будет методика No touch aorta.

АИК неблагоприятно влияет на функцию почек в послеоперационном периоде из-за потенциально нежелательных эффектов, таких как неппульсивный кровоток, гипоперфузия почек, неадекватное перфузионное давление и воспалительные реакции. Недавнее крупномасштабное клиническое исследование, проведенное Garg, продемонстрировало, что без АИК имеется более низкий риск острой послеоперационной почечной недостаточности, чем после КШ с АИК, но нет доказательств того, что функция почек лучше сохраняется через 1 год и дольше [11, 24, 25]. Однако выполнение операции OPCAB может приводить к новым факторам, которые аналогичным образом влияют на почечную функцию: рутинное использование вазоактивных препаратов, частота изменения артериального давления от гипотензии к гипертензии, нарушения, связанные с изменениями сердечного ритма [26–28].

В многочисленных исследованиях сообщается о связи OPCAB с уменьшением потребности в переливании крови у пациентов с дисфункцией левого желудочка [26, 29, 30]. Недавние исследования показали, что потребность в интраоперационном переливании крови значительно увеличивает смертность после коронарного шунтирования [31, 32]. Эти данные могут косвенно свидетельствовать о том, что снижение потребности в переливании приведет к уменьшению смертности в когорте пациентов после OPCAB.

В разных исследованиях заключают, что частота повторных операций по поводу инфекций, кровотечений в группе без использования ИК была меньше. В частности, хорошо спланированное рандомизированное исследование J.D. Puskas и его коллег

продемонстрировало, что OPCAB снижает частоту коагулопатии, отсюда и меньшее количество рестернотомий по поводу раннего послеоперационного кровотечения [33, 34]. Уменьшение рестернотомий по поводу инфицирования глубокой раны грудины можно объяснить несколькими факторами. Коллеги из США в своем многовариантном анализе случаев АКШ из базы данных STS показали, что искусственное кровообращение было независимым фактором риска серьезной инфекции и, соответственно, может увеличивать частоту медиастинита [35, 36]. Как мы сообщали ранее, во время операции на ИК увеличивается потребность в переливании крови, что значительно снижает иммунную функцию [37]. Также I. Risnes и соавт. сообщили, что количество перелитой крови было независимым фактором риска медиастинита [38].

Улучшения нейрокогнитивных исходов после коронарной реваскуляризации без ИК по сравнению с реваскуляризацией на ИК не наблюдается [39].

Однако один из самых главных аспектов операции — это качество наложения анастомоза, т.к. от этого зависит срок службы шунта и, соответственно, отдаленные результаты и исходы. Очевидно, что выполнение дистальных анастомозов на бьющемся сердце, в окровавленном операционном поле, значительно сложнее. Хирургические условия при OPCAB, такие как опасность частичной окклюзии коронарных артерий во время экспозиции, размещение интракоронарных шунтов, использование нагнетателей CO₂ и ухудшение гемодинамики во время позиционирования сердца для шунтирования задних и боковых ветвей, несомненно, уступают почти идеальным условиям, обеспечиваемым при CABG. В своем исследовании A.L. Shroyer и соавт. сообщили, что при OPCAB накладывалось меньше шунтов, чем первоначально планировалось, по сравнению с CABG (17,8 % против 11,1 %, $p < 0,001$) [40]. J.D. Puskas и соавт. высчитали, что во время операции OPCAB накладывается меньшее количество анастомозов на одного пациента, чем при CABG [41].

Очевидно, что огромное влияние на исход операции оказывает опыт хирурга. Несмотря на потенциальные преимущества OPCAB, большинство кардиохирургов ставят в приоритете операцию в условиях искусственного кровообращения, тем самым умаяя собственный опыт таких операций. Многие хирурги обеспокоены тем, что переход от классического CABG к OPCAB ввиду малого опыта может быть связан с неблагоприятными исходами для пациентов. A.H. Sepehrigour и соавт. проанализировали результаты коронарного шунтирования на работающем сердце в зависимости от объема выполненных операций хирургом или больницы и оценили наличие связи между объемом и исходом. Всего было включено 281 исследование и 309 327 человек. A.H. Sepehrigour в некоторой степени подтвердил идею взаимосвязи объема операций и результата [42].

В своем исследовании R.J. Novick и соавт. анализировали кривую обучения хирургов, которые переходят

с CABG на OPCAB, методом последовательной кумулятивной суммы вероятностей (CUSUM) и пришли к выводу, что переход от одной методики операции к другой может быть осуществлен безопасно, несмотря на время обучения, и без значительного вреда для пациента [43].

Заключение

Основываясь на результатах многочисленных исследований, нельзя с точностью сказать, какой метод обеспечения интраоперационной гемодинамики во время реваскуляризации миокарда будет лучшим и предпочтительным для пациентов с низкой фракцией выброса. Данный вопрос должен быть изучен в перспективе. Однако уже можно отметить, что большое количество исследований-сравнений отмечают преимущество операции OPCAB над операцией CABG в плане ранних послеоперационных осложнений и смертности. Также нужно отметить, что по мере накопления опыта проведения таких операций количество осложнений снижается, а переход от CABG к OPCAB можно осуществить безопасно для пациента за недлительные сроки обучения.

Информация о конфликте интересов.

Конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве.

Данная работа не финансировалась.

Список литературы

- 1 Stone G.W., Kappetein A.P., Sabik J.F., Pocock S.J., Morice M.C., Puskas J., et al. Five-year outcomes after PCI or CABG for left main coronary disease. *N Engl J Med.* 2019;381(19):1820–30. DOI: 10.1056/NEJMoa1909406
- 2 Herrington W., Lacey B., Sherliker P., Armitage J., Lewington S. Epidemiology of atherosclerosis and the potential to reduce the global burden of atherothrombotic disease. *Circ Res.* 2016;118(4):535–46. DOI: 10.1161/CIRCRESAHA.115.307611
- 3 Knuuti J., Wijns W., Saraste A., Capodanno D., Barbato E., Funck-Brentano C., et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J.* 2020;41(3):407–77. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz425
- 4 Bakaev F.G., Shroyer A.L., Gammie J.S., Sabik J.F., Cornwell L.D., Coselli J.S., et al. Trends in use of off-pump coronary artery bypass grafting: Results from the Society of Thoracic Surgeons Adult Cardiac Surgery Database. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2014;148(3):856–3, 864.e1; discussion 863–4. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2013.12.047
- 5 Neumann A., Vöhringer L., Fischer J., Mustafi M., Schneider W., Krüger T., et al. Off-pump coronary artery bypass grafting in acute coronary syndrome: focus on safety and completeness of revascularization. *Thorac Cardiovasc Surg.* 2020;68(8):679–86. DOI: 10.1055/s-0039-1677834
- 6 Kirmani B.H., Guo H., Ahmadyur O., Bittar M.N. Long-term survival following on-pump and off-pump coronary artery bypass graft surgery: A propensity score-matched analysis. *Eur J Cardio-thoracic Surg.* 2019;56(6):1147–53. DOI: 10.1093/ejcts/ezz250
- 7 Hovnanian A.L., Matos Soeiro A., Serrano C.V., de Oliveira S.A., Jatene F.B., Stolf N.A.G., et al. Surgical myocardial revascularization of patients with ischemic cardiomyopathy and severe left ventricular dysfunction. *Clinics.* 2010;65(1):3–8. DOI: 10.1590/S1807-59322010000100002
- 8 Nicolini F., Fortuna D., Contini G.A., Pacini D., Gabbieri D., Zussa C., et al. Comparison between off- and on-pump coronary artery bypass grafting: long-term results of a real-world registry. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2016;50(3):528–35. DOI: 10.1093/ejcts/ezw128
- 9 Bianco V., Kilic A., Mulukutla S., Gleason T.G., Kliner D., Allen C.C., et al. Percutaneous coronary intervention versus coronary artery bypass

- grafting in patients with reduced ejection fraction. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2021;161(3):1022–31.e5. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2020.06.159
- 10 Taggart D.P., Gaudino M.F., Gerry S., Gray A., Lees B., Sajja L.R., et al. Ten-year outcomes after off-pump versus on-pump coronary artery bypass grafting: Insights from the Arterial Revascularization Trial. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2021;162(2):591–9.e8. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2020.02.035
 - 11 Guan Z., Guan X., Gu K., Lin X., Lin J., Zhou W., et al. Short-term outcomes of on- vs off-pump coronary artery bypass grafting in patients with left ventricular dysfunction: a systematic review and meta-analysis. *J Cardiothorac Surg.* 2020;15(1):84. DOI: 10.1186/s13019-020-01115-0
 - 12 Wang R., Wang X., Zhu Y., Chen W., Li L., Chen X. Acute kidney injury following on-pump or off-pump coronary artery bypass grafting in elderly patients: A retrospective propensity score matching analysis. *J Cardiothorac Surg.* 2020;15(1). DOI: 10.1186/s13019-020-01226-8
 - 13 Sajja L.R., Sarkar K., Mannam G., Kodali V.K.K., Padmanabhan C., Peter S., et al. Graft patency at 3 months after off- and on-pump coronary bypass surgery: a randomized trial. *Indian J Thorac Cardiovasc Surg.* 2020;36(2):93–104. DOI: 10.1007/s12055-019-00869-0
 - 14 Magarakis M., Buitrago D.H., Macias A.E., Tompkins B.A., Salerno T.A. Off pump coronary artery bypass in patients with an ejection fraction of <20%. What is our strategy? *J Card Surg.* 2021;36(3):1067–71. DOI: 10.1111/jocs.15330
 - 15 Kirov H., Schwarzer M., Neugebauer S., Faerber G., Diab M., Doent T. Metabolomic profiling in patients undergoing Off-Pump or On-Pump coronary artery bypass surgery. *BMC Cardiovasc Disord.* 2017;17(1). DOI: 10.1186/s12872-017-0518-1
 - 16 Xia L., Ji Q., Song K., Shen J., Shi Y., Ma R., et al. Early clinical outcomes of on-pump beating-heart versus off-pump technique for surgical revascularization in patients with severe left ventricular dysfunction: the experience of a single center. *J Cardiothorac Surg.* 2017;12(1):11. DOI: 10.1186/s13019-017-0572-x
 - 17 Wang W., Wang Y., Piao H., Li B., Wang T., Li D., et al. Early and medium outcomes of on-pump beating-heart versus off-pump CABG in patients with moderate left ventricular dysfunction. *Braz J Cardiovasc Surg.* 2019;34(1):62–9. DOI: 10.21470/1678-9741-2018-0207
 - 18 Polomsky M., He X., O'Brien S.M., Puskas J.D. Outcomes of off-pump versus on-pump coronary artery bypass grafting: Impact of preoperative risk. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2013;145(5):1193–8. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2013.02.002
 - 19 Li X., Zhang S., Xiao F. Influence of chronic kidney disease on early clinical outcomes after off-pump coronary artery bypass grafting. *J Cardiothorac Surg.* 2020;15(1):199. DOI: 10.1186/s13019-020-01245-5
 - 20 Telles F., Nanayakkara S., Evans S., Patel H.C., Mariani J.A., Vizi D., et al. Impaired left atrial strain predicts abnormal exercise haemodynamics in heart failure with preserved ejection fraction. *Eur J Heart Fail.* 2019;21(4):495–505. DOI: 10.1002/ejhf.1399
 - 21 Keeling B., Thourani V., Aliawadi G., Kim S., Cyr D., Badhwar V., et al. Conversion from Off-Pump Coronary Artery Bypass Grafting to On-Pump Coronary Artery Bypass Grafting. *Ann Thorac Surg.* 2017;104(4):1267–74. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2017.03.032
 - 22 Shen J.Q., Ji Q., Ding W.J., Xia L.M., Song K., Wei L., et al. Myocardial revascularization among patients with severe left ventricular dysfunction: a comparison between on-pump beating-heart and off-pump coronary artery bypass grafting. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi.* 2018;56(4):294–8. Chinese. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0529-5815.2018.E010
 - 23 Lee S.O., Lee H., Cho Y.H., Jeong D.S., Lee Y.T., Kim W.S. Comparison of Off-Pump coronary artery bypass between octogenarians and septuagenarians: A propensity score analysis. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg.* 2019;52(3):155–61. DOI: 10.5090/kjtcvs.2019.52.3.155
 - 24 Holzmann M.J., Ahlback E., Jeppsson A., Sartipy U. Renal dysfunction and long-term risk of ischemic and hemorrhagic stroke following coronary artery bypass grafting. *Int J Cardiol.* 2013;168:1137–42. DOI: 10.1016/j.ijcard.2012.11.082
 - 25 Rieff F.C., Behrendt C.A., Amin W., Heller S., Hansen L., Winkel S., et al. Complete arterial revascularization using bilateral internal mammary artery in T-graft technique for multivessel coronary artery disease in on- or off-pump approach: does gender lose its historical impact on clinical outcome? *Eur J Cardiothorac Surg.* 2017;52(5):917–23. DOI: 10.1093/ejcts/ezx287
 - 26 Singh R.S., Thingnam S.K.S., Mishra A.K., Verma I., Kumar V. Renal function after off-pump versus on-pump coronary artery bypass grafting. *Asian Cardiovasc Thorac Ann.* 2017;25(7–8):504–8. DOI: 10.1177/0218492317730256
 - 27 Benedetto U., Angelini G.D., Caputo M., Feldman D.N., Kim L.K., Lau C., et al. Off- vs. on-pump coronary artery bypass graft surgery on hospital outcomes in 134,117 octogenarians. *J Thorac Dis.* 2017;9(12):5085–92. DOI: 10.21037/jtd.2017.11.10
 - 28 Yang L., Lin S., Zhang H., Gu D., Chen S., Shi Y., et al. Long-term graft patency after off-pump and on-pump coronary artery bypass: A CORONARY Trial Cohort. *Ann Thorac Surg.* 2020;110(6):2055–61. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2020.03.053
 - 29 Smart N.A., Dieberg G., King N. Long-term outcomes of on- versus off-pump coronary artery bypass grafting. *J Am Coll Cardiol.* 2018;71(9):983–91. DOI:10.1016/j.jacc.2017.12.049
 - 30 Ueki C., Miyata H., Motomura N., Sakaguchi G., Akimoto T., Takamoto S. Off-pump versus on-pump coronary artery bypass grafting in patients with left ventricular dysfunction. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2016;151(4):1092–8. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2015.11.023
 - 31 Niu X., Zhang Q., Xiao D., Zhang Y. A retrospective study of hemodynamic changes in patients after off-pump coronary artery bypass graft surgery using impedance cardiography. *Med Sci Monit.* 2019;25:3454–62. DOI: 10.12659/MSM.913289
 - 32 Qian M.J., Hua K., Zhang L., Zhou Y., Yang X.B., Peng X.G. Perioperative outcomes in off-pump coronary artery bypass grafting patients older than 80 years with left ventricular dysfunction or left ventricular normal: a comparative study based on propensity score matching. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi.* 2020;58(11):882–5. DOI: 10.3760/cma.j.cn112139-20200211-00079
 - 33 Puskas J.D., Williams W.H., Duke P.G., Staples J.R., Glas K.E., Marshall J.J., et al. Off-pump coronary artery bypass grafting provides complete revascularization with reduced myocardial injury, transfusion requirements, and length of stay: A prospective randomized comparison of two hundred unselected patients undergoing off-pump versus conventional coronary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2003;125:797–808. DOI: 10.1067/mtc.2003.324
 - 34 Yoon S.S., Bang J.H., Jeong S.S., Jeong J.H., Woo J.S. Risk factors of on-pump conversion during off-pump coronary artery bypass graft. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg.* 2017;50(5):355–62. DOI: 10.5090/kjtcvs.2017.50.5.355
 - 35 Fowler V.G. Jr, O'Brien S.M., Muhlbaier L.H., Corey G.R., Ferguson T.B., Peterson E.D. Clinical predictors of major infarctions after cardiac surgery. *Circulation.* 2005;112(9 Suppl):I358–65. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.104.525790
 - 36 Трофимов Н.А., Медведев А.П., Бабокин В.Е., Ефимова И.П., Кашин В.Ю., Соболев Ю.А. и др. Влияние высокой легочной гипертензии на эффективность процедуры COX MAZE IV у пациентов с пороками митрального клапана и фибрилляцией предсердий. Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. 2020;13(3):230–8. DOI: 10.17116/kardio20210301230
 - 37 Kulier A., Levin J., Moser R., Rumpold-Seitlinger G., Tudor I.C., Snyder-Ramos S.A., et al. Impact of preoperative anemia on outcome in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery. *Circulation.* 2007;116:471–9. DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.106.653501
 - 38 Risnes I., Abdelnoor M., Almdahl S.M., Svennevig J.L. Mediastinitis after coronary artery bypass grafting risk factors and long-term survival. *Ann Thorac Surg.* 2010;89:1502–9. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2010.02.038
 - 39 Marasco S.F., Sharwood L.N., Abramson M.J. No improvement in neurocognitive outcomes after off-pump versus on-pump coronary revascularisation: a meta-analysis. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2008;33(6):961–70. DOI: 10.1016/j.ejcts.2008.03.022
 - 40 Shroyer A.L., Grover F.L., Hattler B., Collins J.F., McDonald G.O., Kozora E., et al. On-pump versus off-pump coronary-artery bypass surgery. *N. Engl. J. Med.* 2009;361:1827–37. DOI:10.1056/nejmoa0902905
 - 41 Puskas J.D., Kilgo P.D., Kutner M., Pusca S.V., Lattouf O., Guyton R.A. Off-pump techniques disproportionately benefit women and narrow the gender disparity in outcomes after coronary artery bypass surgery. *Circulation.* 2007;116(11 Suppl):I192–9. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.678979
 - 42 Sepehripour A.H., Athanasios T. Is there a surgeon or hospital volume-outcome relationship in off-pump coronary artery bypass surgery? *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2013;16(2):202–7. DOI: 10.1093/icvts/ivs448
 - 43 Novick R.J., Fox S.A., Stitt L.W., Swinamer S.A., Lehnhardt K.R., Rayman R., et al. Cumulative sum failure analysis of a policy change from on-pump to off-pump coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg.* 2001;72(3):S1016–21. DOI: 10.1016/s0003-4975(01)02949-6

References

- 1 Stone G.W., Kappetein A.P., Sabik J.F., Pocock S.J., Morice M.C., Puskas J., et al. Five-year outcomes after PCI or CABG for left main coronary disease. *N Engl J Med.* 2019;381(19):1820–30. DOI: 10.1056/NEJMoa1909406
- 2 Herrington W., Lacey B., Sherliker P., Armitage J., Lewington S. Epidemiology of atherosclerosis and the potential to reduce the global burden of atherothrombotic disease. *Circ Res.* 2016;118(4):535–46. DOI: 10.1161/CIRCRESAHA.115.307611
- 3 Knuuti J., Wijns W., Saraste A., Capodanno D., Barbato E., Funck-Brentano C., et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J.* 2020;41(3):407–77. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz425
- 4 Bakaeen F.G., Shroyer A.L., Gammie J.S., Sabik J.F., Cornwell L.D., Coselli J.S., et al. Trends in use of off-pump coronary artery bypass grafting: Results from the Society of Thoracic Surgeons Adult Cardiac Surgery Database. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2014;148(3):856–3, 864. e1; discussion 863–4. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2013.12.047
- 5 Neumann A., Vöhringer L., Fischer J., Mustafi M., Schneider W., Krüger T., et al. Off-pump coronary artery bypass grafting in acute coronary syndrome: focus on safety and completeness of revascularization. *Thorac Cardiovasc Surg.* 2020;68(8):679–86. DOI: 10.1055/s-0039-1677834
- 6 Kirmani B.H., Guo H., Ahmadyar O., Bittar M.N. Long-term survival following on-pump and off-pump coronary artery bypass graft surgery: A propensity score-matched analysis. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2019;56(6):1147–53. DOI: 10.1093/ejcts/ezz250
- 7 Hovnanian A.L., Matos Soeiro A., Serrano C.V., de Oliveira S.A., Jatene F.B., Stolf N.A.G., et al. Surgical myocardial revascularization of patients with ischemic cardiomyopathy and severe left ventricular dysfunction. *Clinics.* 2010;65(1):3–8. DOI: 10.1590/S1807-59322010000100002
- 8 Nicolini F., Fortuna D., Contini G.A., Pacini D., Gabbieri D., Zussa C., et al. Comparison between off- and on-pump coronary artery bypass grafting: long-term results of a real-world registry. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2016;50(3):528–35. DOI: 10.1093/ejcts/ezw128
- 9 Bianco V., Kilic A., Mulukutla S., Gleason T.G., Kliner D., Allen C.C., et al. Percutaneous coronary intervention versus coronary artery bypass grafting in patients with reduced ejection fraction. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2021;161(3):1022–31.e5. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2020.06.159
- 10 Taggart D.P., Gaudino M.F., Gerry S., Gray A., Lees B., Sajja L.R., et al. Ten-year outcomes after off-pump versus on-pump coronary artery bypass grafting: Insights from the Arterial Revascularization Trial. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2021;162(2):591–9.e8. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2020.02.035
- 11 Guan Z., Guan X., Gu K., Lin X., Lin J., Zhou W., et al. Short-term outcomes of on- vs off-pump coronary artery bypass grafting in patients with left ventricular dysfunction: a systematic review and meta-analysis. *J Cardiothorac Surg.* 2020;15(1):84. DOI: 10.1186/s13019-020-01115-0
- 12 Wang R., Wang X., Zhu Y., Chen W., Li L., Chen X. Acute kidney injury following on-pump or off-pump coronary artery bypass grafting in elderly patients: A retrospective propensity score matching analysis. *J Cardiothorac Surg.* 2020;15(1). DOI: 10.1186/s13019-020-01226-8
- 13 Sajja L.R., Sarkar K., Mannam G., Kodali V.K.K., Padmanabhan C., Peter S., et al. Graft patency at 3 months after off- and on-pump coronary bypass surgery: a randomized trial. *Indian J Thorac Cardiovasc Surg.* 2020;36(2):93–104. DOI: 10.1007/s12055-019-00869-0
- 14 Magarakis M., Buitrago D.H., Macias A.E., Tompkins B.A., Salerno T.A. Off pump coronary artery bypass in patients with an ejection fraction of <20%. What is our strategy? *J Card Surg.* 2021;36(3):1067–71. DOI: 10.1111/jocs.15330
- 15 Kirov H., Schwarzer M., Neugebauer S., Faerber G., Diab M., Doenst T. Metabolic profiling in patients undergoing Off-Pump or On-Pump coronary artery bypass surgery. *BMC Cardiovasc Disord.* 2017;17(1). DOI: 10.1186/s12872-017-0518-1
- 16 Xia L., Ji Q., Song K., Shen J., Shi Y., Ma R., et al. Early clinical outcomes of on-pump beating-heart versus off-pump technique for surgical revascularization in patients with severe left ventricular dysfunction: the experience of a single center. *J Cardiothorac Surg.* 2017;12(1):11. DOI: 10.1186/s13019-017-0572-x
- 17 Wang W., Wang Y., Piao H., Li B., Wang T., Li D., et al. Early and medium outcomes of on-pump beating-heart versus off-pump CABG in patients with moderate left ventricular dysfunction. *Braz J Cardiovasc Surg.* 2019;34(1):62–9. DOI: 10.21470/1678-9741-2018-0207
- 18 Polomsky M., He X., O'Brien S.M., Puskas J.D. Outcomes of off-pump versus on-pump coronary artery bypass grafting: Impact of preoperative risk. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2013;145(5):1193–8. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2013.02.002
- 19 Li X., Zhang S., Xiao F. Influence of chronic kidney disease on early clinical outcomes after off-pump coronary artery bypass grafting. *J Cardiothorac Surg.* 2020;15(1):199. DOI: 10.1186/s13019-020-01245-5
- 20 Telles F., Nanayakkara S., Evans S., Patel H.C., Mariani J.A., Vizi D., et al. Impaired left atrial strain predicts abnormal exercise haemodynamics in heart failure with preserved ejection fraction. *Eur J Heart Fail.* 2019;21(4):495–505. DOI: 10.1002/ejhf.1399
- 21 Keeling B., Thourani V., Aliawadi G., Kim S., Cyr D., Badhwar V., et al. Conversion from Off-Pump Coronary Artery Bypass Grafting to On-Pump Coronary Artery Bypass Grafting. *Ann Thorac Surg.* 2017;104(4):1267–74. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2017.03.032
- 22 Shen J.Q., Ji Q., Ding W.J., Xia L.M., Song K., Wei L., et al. Myocardial revascularization among patients with severe left ventricular dysfunction: a comparison between on-pump beating-heart and off-pump coronary artery bypass grafting. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi.* 2018;56(4):294–8. Chinese. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0529-5815.2018.E010
- 23 Lee S.O., Lee H., Cho Y.H., Jeong D.S., Lee Y.T., Kim W.S. Comparison of Off-Pump coronary artery bypass between octogenarians and septuagenarians: A propensity score analysis. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg.* 2019;52(3):155–61. DOI: 10.5090/kjtc.2019.52.3.155
- 24 Holzmann M.J., Ahlback E., Jeppsson A., Sartipy U. Renal dysfunction and long-term risk of ischemic and hemorrhagic stroke following coronary artery bypass grafting. *Int J Cardiol.* 2013;168:1137–42. DOI: 10.1016/j.ijcard.2012.11.082
- 25 Riefl F.C., Behrendt C.A., Amin W., Heller S., Hansen L., Winkel S., et al. Complete arterial revascularization using bilateral internal mammary artery in T-graft technique for multivessel coronary artery disease in on- or off-pump approach: does gender lose its historical impact on clinical outcome? *Eur J Cardiothorac Surg.* 2017;52(5):917–23. DOI: 10.1093/ejcts/ezx287
- 26 Singh R.S., Thingnam S.K.S., Mishra A.K., Verma I., Kumar V. Renal function after off-pump versus on-pump coronary artery bypass grafting. *Asian Cardiovasc Thorac Ann.* 2017;25(7–8):504–8. DOI: 10.1177/0218492317730256
- 27 Benedetto U., Angelini G.D., Caputo M., Feldman D.N., Kim L.K., Lau C., et al. Off- vs. on-pump coronary artery bypass graft surgery on hospital outcomes in 134,117 octogenarians. *J Thorac Dis.* 2017;9(12):5085–92. DOI: 10.21037/jtd.2017.11.10
- 28 Yang L., Lin S., Zhang H., Gu D., Chen S., Shi Y., et al. Long-term graft patency after off-pump and on-pump coronary artery bypass: A CORONARY Trial Cohort. *Ann Thorac Surg.* 2020;110(6):2055–61. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2020.03.053
- 29 Smart N.A., Dieberg G., King N. Long-term outcomes of on- versus off-pump coronary artery bypass grafting. *J Am Coll Cardiol.* 2018;71(9):983–91. DOI: 10.1016/j.jacc.2017.12.049
- 30 Ueki C., Miyata H., Motomura N., Sakaguchi G., Akimoto T., Takamoto S. Off-pump versus on-pump coronary artery bypass grafting in patients with left ventricular dysfunction. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2016;151(4):1092–8. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2015.11.023
- 31 Niu X., Zhang Q., Xiao D., Zhang Y. A retrospective study of hemodynamic changes in patients after off-pump coronary artery bypass graft surgery using impedance cardiography. *Med Sci Monit.* 2019;25:3454–62. DOI: 10.12659/MSM.913289
- 32 Qian M.J., Hua K., Zhang L., Zhou Y., Yang X.B., Peng X.G. Perioperative outcomes in off-pump coronary artery bypass grafting patients older than 80 years with left ventricular dysfunction or left ventricular normal: a comparative study based on propensity score matching. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi.* 2020;58(11):882–5. DOI: 10.3760/cma.j.cn112139-20200211-00079
- 33 Puskas J.D., Williams W.H., Duke P.G., Staples J.R., Glas K.E., Marshall J.J., et al. Off-pump coronary artery bypass grafting provides complete revascularization with reduced myocardial injury, transfusion requirements, and length of stay: A prospective randomized comparison of two hundred unselected patients versus off-pump versus conventional coronary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2003;125:797–808. DOI: 10.1067/mtc.2003.324
- 34 Yoon S.S., Bang J.H., Jeong S.S., Jeong J.H., Woo J.S. Risk factors of on-pump conversion during off-pump coronary artery bypass graft. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg.* 2017;50(5):355–62. DOI: 10.5090/kjtc.2017.50.5.355
- 35 Fowler V.G. Jr, O'Brien S.M., Muhlbaier L.H., Corey G.R., Ferguson T.B., Peterson E.D. Clinical predictors of major infections after

- cardiac surgery. *Circulation*. 2005;112(9 Suppl):I358–65. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.104.525790
- 36 Trofimov N.A., Medvedev A.P., Babokin V.E., Efimova I.P., Kashin V.Yu., Sobolev Yu.A., et al. Impact of pulmonary hypertension on the effectiveness of Cox Maze IV procedure in patients with mitral valve disease and concomitant atrial fibrillation. *Kardiologiya i Serdechno-Sosudistaya Khirurgiya*. 2020;13(3):230–8 (In Russ.). DOI: 10.17116/kardio202013031230
- 37 Kulier A., Levin J., Moser R., Rumpold-Seitlinger G., Tudor I.C., Snyder-Ramos S.A., et al. Impact of preoperative anemia on outcome in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery. *Circulation*. 2007;116:471–9. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.653501
- 38 Risnes I., Abdelnoor M., Almdahl S.M., Svennevig J.L. Mediastinitis after coronary artery bypass grafting risk factors and long-term survival. *Ann Thorac Surg*. 2010;89:1502–9. DOI: 10.1016/j.athorac-sur.2010.02.038
- 39 Marasco S.F., Sharwood L.N., Abramson M.J. No improvement in neurocognitive outcomes after off-pump versus on-pump coronary revascularisation: a meta-analysis. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2008;33(6):961–70. DOI: 10.1016/j.ejcts.2008.03.022
- 40 Shroyer A.L., Grover F.L., Hattler B., Collins J.F., McDonald G.O., Kozora E., et al. On-pump versus off-pump coronary-artery bypass surgery. *N. Engl. J. Med*. 2009;361:1827–37. DOI:10.1056/nejmoa0902905
- 41 Puskas J.D., Kilgo P.D., Kutner M., Pusca S.V., Lattouf O., Guyton R.A. Off-pump techniques disproportionately benefit women and narrow the gender disparity in outcomes after coronary artery bypass surgery. *Circulation*. 2007;116(11 Suppl):I192–9. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.678979
- 42 Sepehrpour A.H., Athanasiou T. Is there a surgeon or hospital volume-outcome relationship in off-pump coronary artery bypass surgery? *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2013;16(2):202–7. DOI: 10.1093/icvts/ivs448
- 43 Novick R.J., Fox S.A., Stitt L.W., Swinamer S.A., Lehnhardt K.R., Rayman R., et al. Cumulative sum failure analysis of a policy change from on-pump to off-pump coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg*. 2001;72(3):S1016–21. DOI: 10.1016/s0003-4975(01)02949-6