

DOI: 10.56871/MTP.2023.49.65.039

УДК 616.132.2-004.6-089

ИНТРАОПЕРАЦИОННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОНДУИТОВ ПРИ КОРОНАРНОМ ШУНТИРОВАНИИ

© Магомедэмин Ахмедалиевич Аскеров^{1, 2}, Геннадий Григорьевич Хубулава^{1, 3},
Видади Умудович Эфендиев¹, Сергей Валерьевич Садовой¹, Михаил Александрович
Снегирев¹, Иван Михайлович Воложинский¹, Рафаэль Рафатович Сафин¹,
Александр Максимович Букур¹, Ирина Анатольевна Яценко¹,
Евгений Александрович Минин¹, Владимир Константинович Ногинов¹

¹ Городская Мариинская больница. 191014, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 56

² Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет.
194100, Российская Федерация, Санкт-Петербург, Литовская ул., д. 2

³ Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова. 194044, Российская Федерация,
Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6

Контактная информация: Магомедэмин Ахмедалиевич Аскеров — к.м.н., сердечно-сосудистый хирург отделения кардиохирургии СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница», доцент кафедры госпитальной хирургии СПбГПМУ. E-mail: askerovma1982@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-5151-3565 SPIN: 7685-4411 Author ID: 1199575

Для цитирования: Аскеров М.А., Хубулава Г.Г., Эфендиев В.У., Садовой С.В., Снегирев М.А., Воложинский И.М., Сафин Р.Р., Букур А.М., Яценко И.А., Минин Е.А., Ногинов В.К. Интраоперационная оценка качества функционирования кондуитов при коронарном шунтировании // Медицина: теория и практика. 2023. Т. 8. Спецвыпуск. С. 97–103. DOI: <https://doi.org/10.56871/MTP.2023.49.65.039>

Поступила: 29.06.2023

Одобрена: 28.07.2023

Принята к печати: 09.11.2023

РЕЗЮМЕ: Реваскуляризация миокарда методом коронарного шунтирования — эффективное вмешательство, обеспечивающее свободу от симптомов ИБС и увеличивающее продолжительность жизни пациентов, предотвращая фатальные кардиальные осложнения. Улучшение ранних и отдаленных результатов коронарного шунтирования является приоритетной задачей хирургического лечения ИБС. Результаты реваскуляризации миокарда зависят от многих факторов. Одним из факторов, обеспечивающих хорошие результаты коронарного шунтирования, является качество и продолжительность функционирования кондуитов. Интраоперационный контроль качества позволяет своевременно выявить и устранить дефекты в шунтах. Контроль осуществляется несколькими методами: пальпация, интраоперационная коронарошунтоангиография, флоуметрия кондуитов с ультразвуковой визуализацией анастомозов. Пальпация и сцеживание шунтов часто используется хирургами как скрининговый метод позволяя определить факт наличия кровотока без количественных и качественных характеристик. Только при наличии большого опыта хирург может быть более или менее уверен в методе пальпации. Самым надежным и информативным методом остается прямая ангиография шунтов, которая сопряжена со сложностями организации процесса, увеличением продолжительности операции и ресурсными затратами. Не уступающим по чувствительности и информативности ангиографии методом, требующим меньших ресурсов и времени, является флоуметрия. Выполнив после формирования анастомозов и запуска кровотока измерение флоуметрическим датчиком объема потока крови по шунтам за единицу времени, сосудистое сопротивление и диастолический поток, можно сделать вывод о качестве функционирования кондуита. В случае отклонения показателей кровотока от допустимой нормы можно предположить, что имелись технические дефекты на этапе формирования анастомозов и своевременно их скорректировать до ушивания раны. Сканирование высокочастотным ультразвуковым датчиком дает возможность с высоким разрешением визуализировать анастомозы, оценить их геометрию, наличие стенозов и перетяжек по линии шва, а цветное контрастирование потока крови и доплерография могут достоверно подтвердить наличие или

отсутствие стенозов. Интраоперационный контроль функционирования кондуитов методом флоуметрии в сочетании с ультразвуковой визуализацией анастомозов позволяют снизить процент дисфункции шунтов, улучшая, таким образом, ближайшие и отдаленные результаты хирургического лечения ИБС.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: коронарное шунтирование, интраоперационная флоуметрия, объемная скорость потока, сосудистое сопротивление, ультразвуковая визуализация анастомозов.

INTRAOPERATIVE ASSESSMENT OF CONDUITS QUALITY DURING CORONARY BYPASS SURGERY

© Magomedemin A. Askerov^{1, 2}, Gennadiy G. Khubulava^{1, 3}, Vidadi U. Efendiev¹, Sergey V. Sadovoy¹, Mikhail A. Snegirev¹, Ivan M. Volozhinsky¹, Raphael R. Safin¹, Alexander M. Bukur¹, Irina A. Yacenko¹, Eugene A. Minin¹, Vladimir K. Noginov¹

¹ City Mariinsky Hospital. 191014, Russian Federation, Saint Petersburg, Liteyny Ave., 56

² Saint Petersburg State Pediatric Medical University. 194100, Russian Federation, Saint Petersburg, Lithuania, 2

³ S.M. Kirov Military Medical Academy. 194044, Russian Federation, Saint Petersburg, Academician Lebedev str., 6

Contact information: Magomedemin A. Askerov — Candidate of Medical Sciences, cardiovascular surgeon of the Department of Cardiac Surgery “Mariinsky Hospital”, Associate Professor of the Department of Hospital Surgery of SPbSPMU. E-mail: askerovma1982@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-5151-3565 SPIN: 7685-4411 Author ID: 1199575

For citation: Askerov MA, Khubulava GG, Efendiev VU, Sadovoy SV, Snegirev MA, Volozhinsky IM, Safin RR, Bukur AM, Yacenko IA, Minin EA, Noginov VK. Intraoperative assessment of conduits quality during coronary bypass surgery. Medicine: theory and practice (St. Petersburg). 2023;8(Supplement):97-103. DOI: <https://doi.org/10.56871/MTp.2023.49.65.039>

Received: 29.06.2023

Revised: 28.07.2023

Accepted: 09.11.2023

ABSTRACT: Myocardial revascularization by coronary bypass surgery is an effective intervention that provides relief from the symptoms of coronary artery disease and increases the lifetime of patients by preventing fatal cardiac complications. Improving the early and long-term results of coronary bypass surgery is a priority task for surgical treatment of coronary artery disease. The results of myocardial revascularization depend on many factors. One of the factors ensuring good results of coronary bypass surgery is the quality and duration of functioning of the conduits. Intraoperative quality control allows timely detection and elimination of defects in shunts. The control is carried out by several methods: palpation, intraoperative coronary angiography, conduit flowmetry with ultrasound imaging of anastomoses. Palpation and pumping of shunts are often used by surgeons as a screening method, allowing to determine the presence of blood flow, without quantitative and qualitative characteristics. Only with a lot of experience, the surgeon can be more or less confident in the method of palpation. The most reliable and informative method is a direct angiography of shunts, but it's coupled with the difficulties of organizing the process, increasing the duration of the operation and resource costs. Flowmetry is not worse in sensitivity and informativeness than angiography and requires less resources and time. After the formation of anastomoses and the start of blood flow, the flowmetric sensor measures the volume of blood flow through shunts in a measured period, vascular resistance and diastolic flow, it can be concluded about the quality of the functioning of the conduit. In case of deviation of blood flow indicators from the permissible norm, it can be assumed that there were technical defects at the stage of formation of anastomoses and correct them before suturing the wound. Scanning with a high-frequency ultrasound sensor makes it possible to visualize anastomoses with high resolution, assess their geometry, the presence of stenoses and constrictions along the suture line, and color contrasting of blood flow and Dopplerography can reliably confirm the presence or absence of stenoses. Intraoperative monitoring of the conduits by flowmetry in combination with ultrasound imaging of anastomoses can reduce the percentage of bypass dysfunction, thus improving the immediate and long-term results of surgical treatment of coronary artery disease.

KEY WORDS: coronary artery bypass grafting, intraoperative flowmetry, volumetric flow rate, vascular resistance, ultrasound visualization of anastomoses.

Реваскуляризация миокарда — самое часто выполняемое вмешательство в кардиохирургии. Процент коронарного шунтирования, по данным разных авторов, составляет от 50 до 70% всех открытых операций на сердце [1]. Связан данный факт с распространенностью ИБС в мире. Заболеваемость и смертность от ИБС являются самыми высокими в структуре болезней системы кровообращения. Смертность от ИБС в России составляет 347 человек на 100 тыс. населения в год [1, 2]. За последние два года растет заболеваемость и смертность от ИБС среди населения трудоспособного возраста, тогда как у пациентов старше 70 лет наблюдается тенденция к снижению показателя [1]. Приведенные данные демонстрируют значимость своевременной профилактики, диагностики и лечения ИБС.

Одними из эффективных методов лечения ИБС при неэффективности оптимальной медикаментозной терапии является реваскуляризация миокарда, которая выполняется методами чрескожного коронарного вмешательства и коронарного шунтирования [3]. При многососудистом поражении коронарного русла, стенозе ствола левой коронарной артерии, проксимальном стенозе передней нисходящей артерии вмешательством выбора является открытая реваскуляризация миокарда [3–5].

Коронарное шунтирование выполняется как в условиях искусственного кровообращения,

так и на работающем сердце. Выбор метода открытой реваскуляризации зависит от сопутствующей патологии, анатомии коронарного русла, размеров сердца и опыта хирургической бригады [6]. Результаты коронарного шунтирования как в ближайшем, так и в отдаленном периодах зависят преимущественно от функционирования кондуитов, сопротивления дистального русла, течения ИБС, приверженности пациента к медикаментозной терапии после операции и снижения негативного влияния факторов риска [1, 8, 13].

Технические аспекты формирования анастомозов являются одними из ведущих факторов проходимости кондуитов в ранние и отдаленные сроки после реваскуляризации миокарда [9, 10]. Наиболее часто в качестве кондуитов используются большая подкожная вена, внутренние грудные артерии и лучевая артерия [4]. После завершения основного этапа вмешательства контроль проходимости кондуитов и качество анастомозов оценивается путем интраоперационной шунтографии [7, 8, 13].

В связи с организационной сложностью процесса, необходимостью наличия ангиографа в операционной широкое распространение данная методика не получила, хотя и является «золотым стандартом» оценки проходимости кондуита и качества анастомозов в периоперационном периоде [7, 8]. В последние годы

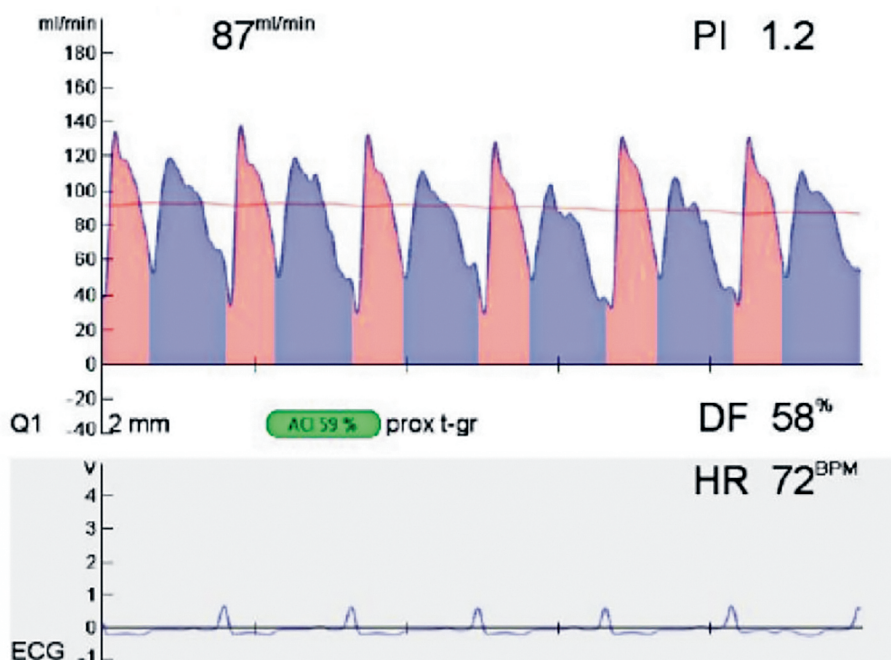


Рис. 1. Интраоперационная ультразвуковая флоуметрия

Fig. 1. Intraoperative ultrasound flowmetry

широкое распространение получила интраоперационная ультразвуковая флоуметрия с визуализацией анастомозов, которая позволяет оценивать скоростные и объемные показатели кровотока по кондуитам, а также качество сформированных анастомозов (рис. 1). Интра-



Рис. 2. Функционирующий аутовенозный шунт в ветви тупого края

Fig. 2. Functioning autovenous shunt in the branch of the blunt edge

операционная флоуметрия рекомендована к рутинному использованию после завершения основного этапа вмешательства шунтирования отечественными и зарубежными клиническими рекомендациями [3, 4, 9, 10].

Основными оцениваемыми параметрами являются: скорость и объем кровотока, сосудистое сопротивление, процентное соотношение кровотока в систолу и диастолу [9–11]. Объем кровотока более 25 мл/мин и сопротивление менее 5 являются минимально допустимыми значениями, при которых проходимость кондуита оценивается как приемлемая для нормального функционирования [14–16]. При снижении данных показателей ниже рекомендованных величин показана эпикардальная ультразвуковая визуализация анастомозов (рис. 2) или прямая шунтография (рис. 3), что позволяет обнаружить возможные дефекты в анастомозах, своевременно выполнить их ревизию и устранить дефект [7, 8, 14, 15].

Ультразвуковая визуализация в настоящее время является интегрированной функцией доступной в современных флоуметрах. Это дает возможность наряду с потоками оценить ширину анастомоза, наличие перетяжек или кисетных стенозов, подхватывание нитью противоположной стенки сосуда и т.д. (рис. 3).

Хотя в клинических рекомендациях рутинное применение флоуметрии для оценки проходимости кондуитов имеет IIa класс доказательства [4], многие клиники и крупные центры рутинно пользуются интраоперационной

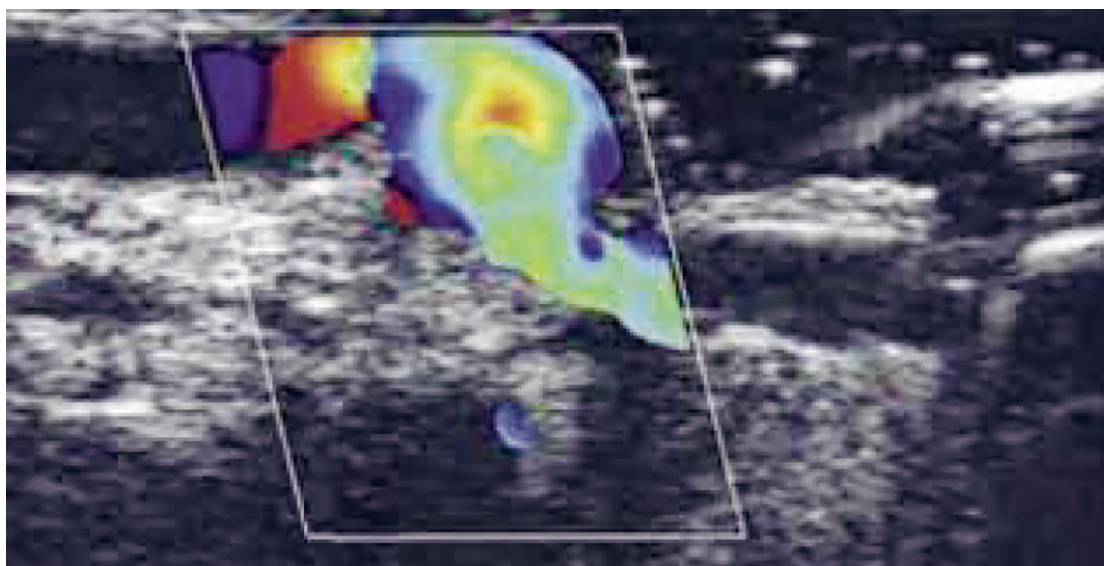


Рис. 3. Зона дистального анастомоза

Fig. 3. Distal anastomosis zone

флоуметрией при выполнении открытой реваскуляризации миокарда, что позволяет снизить риски периоперационного инфаркта миокарда и улучшить ранние и отдаленные результаты вмешательства [12, 14]. В отделении кардиохирургии СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница» интраоперационная флоуметрия применяется с 2010 года. Первый флоуметр, который мы использовали, был отечественного производства и оценивал только линейную скорость кровотока, что не позволяло полноценно определить адекватность функционирования кондуитов.

С появлением современного флоуметра рутинное применения методики в первые 6 месяцев дало возможность выявить и устранить до 12% дефектных анастомозов, что позволило пересмотреть предоперационную оценку емкости дистального русла, качества забора кондуитов и технику формирования анастомозов снизив таким образом данный показатель до 2%. При наличии высокого сопротивления по шунту во время измерения, особенно после вмеша-

тельств с искусственным кровообращением, в кондуит вводятся спазмолитики для снятия возможного коронарospазма (рис. 4).

Если после медикаментозной дилатации сопротивление снижается, то ревизия анастомозов не выполняется (рис. 5).

При сохраняющемся высоком сопротивлении по шунтам в сочетании с ишемическими изменениями на ЭКГ и нарушением сократимости для выявления причины выполняется визуализация ультразвуковым датчиком или коронарошунтография с последующим устранением дефекта (рис. 2, 3). В настоящее время при операциях коронарного шунтирования мы отошли от рутинного использования флоуметрии. Оценка проходимости кондуитов применяется избирательно в случаях ишемических изменений на ЭКГ, нестабильности гемодинамики, нарушениях локальной сократимости миокарда по результатам интраоперационной чреспищеводной эхокардиографии. Усредненные объемные показатели кровотока и сосудистое сопротивление в за-

Таблица 1

Показатели кровотока по кондуитам

Table 1

Indicators of blood flow by conduit

ПНА			ОА			ПКА		
V	ACI	PI	V	ACI	PI	V	ACI	PI
49,3	75,7	2,19	48	72	2,4	51	73	1,8

Примечание: ПНА — передняя нисходящая артерия; ОА — огибающая артерия; V — объем кровотока мл/мин; PI — сопротивление дин/с/см; ALC — контакт датчика, %

Note: PNA — the anterior descending artery; OA — the circumflex artery; V — the volume of blood flow ml/min; PI — the resistance din/s/cm; ALC — the sensor contact, %

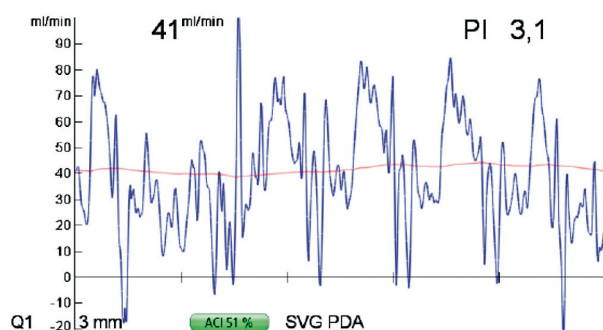


Рис. 4. Зубчатый характер кривой, характеризующий коронарospазм или конкурентный кровоток

Fig. 4. The jagged nature of the curve characterizing coronarospasm or competitive blood flow

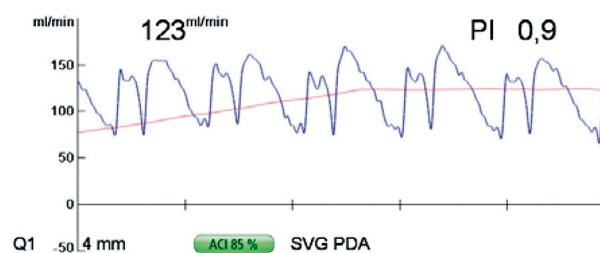
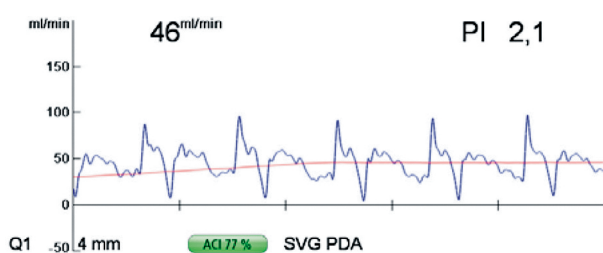


Рис. 5. Кровоток в аутовенозном кондуите к правой коронарной артерии при первичном измерении (объем — 46 мл/мин, сопротивление — 2,1), после введения 0,2% раствора папаверина в правую коронарную артерию (объем — 123 мл/мин, сопротивление — 0,9)

Fig. 5. Blood flow in the autovenous conduit to the right coronary artery at the initial measurement (volume — 46 ml/min, resistance — 2.1), after injection of 0.2% papaverine solution into the right coronary artery (volume — 123 ml/min, resistance — 0.9)

висимости от шунтируемого бассейна показаны в таблице 1.

Таким образом, интраоперационный контроль качества коронарного шунтирования при помощи ультразвуковой оценки объемных и скоростных показателей по кондуитам с детальной визуализацией анастомозов позволяют своевременно выявить и устранить их дисфункцию, улучшая ближайшие и отдаленные результаты реваскуляризации миокарда.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

Conflicts of interest. The authors declare that they have no competing interests.

Funding sources. This study was not supported by any external sources of funding.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бокерия, Л.А. Сердечно-сосудистая хирургия — 2015. Болезни и врожденные аномалии системы кровообращения / Л.А. Бокерия, Р.Г. Гудкова // М.: Научный центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева, 2021. С. 270
2. Здравоохранение в России. 2021: Стат.сб./Росстат. М., 3-46 2021. 171 с.
3. Российское кардиологическое общество (РКО). Стабильная ишемическая болезнь сердца. Клинические рекомендации 2020. Российский кардиологический журнал. 2020;25(11):4076. <https://doi.org/10.15829/291560-4071-2020-4076>
4. Lawton JS, Tamis-Holland JE, Bangalore S. et al. 2021 ACC/ANA/SCAI Guideline for Coronary Artery Revascularization: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. J Am Coll Cardiol. 2022 Jan 18;79(2):e21-e129. DOI: 10.1016/j.jacc.2021.09.006. Epub 2021 Dec 9. PMID: 34895950.
5. Banning AP, Serruys P, De Maria GL et al. Five-year outcomes after state-of-the-art percutaneous coronary revascularization in patients with de novo three-vessel disease: final results of the SYNTAX II study. Eur Heart J. 2022 Mar 31;43(13):1307-1316. DOI: 10.1093/eurheartj/ehab703. PMID: 34617993; PMCID: PMC8970987.
6. Shroyer AL, Hattler B, Wagner TH et al.; Veterans Affairs ROOBY-FS Group. Five-Year Outcomes after On-Pump and Off-Pump Coronary-Artery Bypass. N Engl J Med. 2017 Aug 17;377(7):623-632. DOI: 10.1056/NEJMoa1614341. PMID: 28813218.
7. Бокерия Л.А., Алекян Б.Г., Чигогидзе Н.А. и др. Значение интраоперационной шунтографии при хирургической реваскуляризации миокарда. Анналы хирургии. 2015. (2): 16-23.
8. Бокерия Л.А., Пурсанов М.Г., Соболев А.В. и др. Интраоперационная шунтография — новая возможность оценки результатов коронарного шунтирования во время хирургической реваскуляризации миокарда. Международный журнал интервенционной кардиоангиологии. 2017. 48-49: 28-29.
9. Lehnert P, Moller CH, Damgaard S, Gerds TA, Steinbrüchel DA. Transit-time flow measurement as a predictor of coronary bypass graft failure at one year angiographic follow-up. J Card Surg. 2015 Jan;30(1):47-52. DOI: 10.1111/jocs.12471. Epub 2014 Nov 3. PMID: 25363805.
10. Niclauss L. Techniques and standards in intraoperative graft verification by transit time flow measurement after coronary artery bypass graft surgery: a critical review. Eur J Cardiothorac Surg. 2017 Jan;51(1):26-33. DOI: 10.1093/ejcts/ezw203. Epub 2016 Jun 13. PMID: 27298393.
11. Базылев В.В., Немченко Е.В., Карнахин В.А., Павлов А.А., Микуляк А.И.. Флоуметрическая оценка коронарных шунтов в условиях искусственного кровообращения и на работающем сердце. Ангиология и сосудистая хирургия. 2016. 22(1): 67-71.
12. Базылев В.В., Немченко Е.В., Россейкин Е.В., Микуляк А.И. Флоуметрические и ангиографические предикторы окклюзии коронарных шунтов. Ангиология и сосудистая хирургия. 2018. 24(2): 49-54.
13. Шнейдер Ю.А., Исаев М.В., Антипов Г.Н. и др. Анализ результатов шунтографии после операций аортокоронарного шунтирования. Кардиология. 2018;58(6): 44-50. doi.org/10.18087/ca%D0%B3dio.2018.6.10132.
14. Энгиноев С.Т., Кондратьев Д.А., Магомедов Г.М., Кадыралиев Б.К., Чернов И.И. Интраоперационные методы оценки проходимости шунтов при помощи флоуметрии и эпикардального ультразвукового исследования в коронарной хирургии. Кардиология и

сердечно-сосудистая хирургия. 2021;14(4):248–252. <https://doi.org/10.17116/kardio.202114041248>.

15. Akhrass R, Bakaeen FG. Intraoperative graft patency validation: Friend or foe? JTCVS Techniques. 2021;7:131–137. <https://doi.org/10.1016/j.xjtc.2020.12.040>
 16. Gaudino M, Sandner S, Di Giammarco G et al. The Use of Intraoperative Transit Time Flow Measurement for Coronary Artery Bypass Surgery: Systematic Review of the Evidence and Expert Opinion Statements. Circulation. 2021;144(14):1160–1171. <https://doi.org/10.1161/Circulationaha.121.054311>
- ## REFERENCES
1. Bokeriya, L.A. Serdechno-sosudistaya hirurgiya — 2015 [Cardiovascular surgery – 2015]. Bolezni i vrozhdennyye anomalii sistemy krovoobrashcheniya / L.A. Bokeriya, R.G. Gudkova // M.: Nauchnyy centr serdechno-sosudistoy hirurgii im. A.N. Bakuleva, 2021. P.270 (In Russian).
 2. Zdravoohraneniye v Rossii [Healthcare in Russia]. 2021: Stat.sb./Rosstat. M., Z-46 2021. 171 p. (In Russian).
 3. Rossijskoe kardiologicheskoe obshchestvo (RKO) [Russian Society of Cardiology (RKO)]. Stabil'naya ishemicheskaya bolezni' serdca. Klinicheskie rekomendacii 2020. Rossijskij kardiologicheskij zhurnal. 2020;25(11):4076. <https://doi.org/10.15829/29/1560-4071-2020-4076> (In Russian).
 4. Lawton JS, Tamis-Holland JE, Bangalore S. et al. 2021 ACC/AHA/SCAI Guideline for Coronary Artery Revascularization: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. J Am Coll Cardiol. 2022 Jan 18;79(2):e21–e129. DOI: 10.1016/j.jacc.2021.09.006. Epub 2021 Dec 9. PMID: 3489595.
 5. Banning AP, Serruys P, De Maria GL et al. Five-year outcomes after state-of-the-art percutaneous coronary revascularization in patients with de novo three-vessel disease: final results of the SYNTAX II study. Eur Heart J. 2022 Mar 31;43(13):1307–1316. DOI: 10.1093/eurheartj/ehab703. PMID: 34617993; PMCID: PMC8970987.
 6. Shroyer AL, Hattler B, Wagner TH, et al.; Veterans Affairs ROOBY-FS Group. Five-Year Outcomes after On-Pump and Off-Pump Coronary-Artery Bypass. N Engl J Med. 2017 Aug 17;377(7):623–632. DOI: 10.1056/NEJMoa1614341. PMID: 28813218.
 7. Bokeriya L.A., Alekhan B.G., Chigogidze N.A. i dr. Znachenie intraoperacionnoj shuntografii pri hirurgicheskoy revaskulyarizacii miokarda [The significance of intraoperative shuntography in surgical myocardial revascularization]. Annaly hirurgii. 2015. (2): 16–23. (In Russian).
 8. Bokeriya L.A., Pursanov M.G., Sobolev A.V. i dr. Intraoperacionnaya shuntografiya - novaya vozmozhnost' ocenki rezul'tatov koronarnogo shuntirovaniya vo vremya hirurgicheskoy revaskulyarizacii miokarda [Intraoperative shuntography is a new opportunity to evaluate the results of coronary bypass surgery during surgical myocardial revascularization]. Mezhdunarodnyj zhurnal intervencionnoj kardioangiologii. 2017. 48–49: 28–29. (In Russian).
 9. Lehnert P, Moller CH, Damgaard S, Gerds TA, Steinbrüchel DA. Transit-time flow measurement as a predictor of coronary bypass graft failure at one year angiographic follow-up. J Card Surg. 2015 Jan;30(1):47–52. DOI: 10.1111/jocs.12471. Epub 2014 Nov 3. PMID: 25363805.
 10. Niclauss L. Techniques and standards in intraoperative graft verification by transit time flow measurement after coronary artery bypass graft surgery: a critical review. Eur J Cardiothorac Surg. 2017 Jan;51(1):26–33. DOI: 10.1093/ejcts/ezw203. Epub 2016 Jun 13. PMID: 27298393.
 11. Bazylev V.V., Nemchenko E.V., Karnahin V.A., Pavlov A.A., Mikulyak A.I. Floumetricheskaya ocenka koronarnykh shuntov v usloviyakh iskusstvennogo krovoobrashcheniya i na rabotayushchem serdce [Flowmetric assessment of coronary shunts in conditions of artificial circulation and on a working heart]. Angiologiya i sosudistaya hirurgiya. 2016. 22(1): 67–71. (In Russian).
 12. Bazylev V.V., Nemchenko E.V., Rossejkin E.V., Mikulyak A.I.. Floumetricheskie i angiograficheskie prediktory okklyuzii koronarnykh shuntov [Flowmetric and angiographic predictors of coronary bypass occlusion]. Angiologiya i sosudistaya hirurgiya. 2018. 24(2): 49–54. (In Russian).
 13. SHnejder Yu.A., Isayan M.V., Antipov G.N. I dr. Analiz rezul'tatov shuntografii posle operacij aortokoronarnogo shuntirovaniya [Analysis of shuntography results after coronary artery bypass surgery]. Kardiologiya. 2018;58(6): 44–50. doi.org/10.18087/ca%D0%B3dio.2018.6.10132. (In Russian).
 14. Enginiev S.T., Kondrat'ev D.A., Magomedov G.M., Kadyraliev B.K., Chernov I.I. Intraoperacionnye metody ocenki prohodimosti shuntov pri pomoshchi floumetrii i epikardial'nogo ul'trazvukovogo issledovaniya v koronarnoj hirurgii [Intraoperative methods for assessing the patency of shunts using flowmetry and epicardial ultrasound in coronary surgery]. Kardiologiya i serdechno-sosudistaya hirurgiya. 2021;14(4):248–252. <https://doi.org/10.17116/kardio.202114041248> (In Russian).
 15. Akhrass R, Bakaeen FG. Intraoperative graft patency validation: Friend or foe? JTCVS Techniques. 2021;7:131–137. <https://doi.org/10.1016/j.xjtc.2020.12.040>.
 16. Gaudino M, Sandner S, Di Giammarco G et al. The Use of Intraoperative Transit Time Flow Measurement for Coronary Artery Bypass Surgery: Systematic Review of the Evidence and Expert Opinion Statements. Circulation. 2021;144(14):1160–1171. <https://doi.org/10.1161/Circulationaha.121.054311>