

<https://doi.org/10.36396/MS.2020.16.4.003>

## Интраоперационная ультразвуковая флоуметрия у пациентов с диффузным поражением коронарных артерий при выполнении аортокоронарного шунтирования

А.А. ШИРЯЕВ, Д.М. ГАЛЯУТДИНОВ, В.П. ВАСИЛЬЕВ, В.Ю. ЗАЙКОВСКИЙ, Ш.Д. МУКИМОВ, Р.С. АКЧУРИН

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, улица 3-я Черепковская 15а, Москва, 121552, Россия

### Резюме

Диффузное поражение (ДП) коронарных артерий (КА) — одна из наиболее сложных ситуаций с прогностической точки зрения для выполнения операции коронарного шунтирования (КШ). Протяженное коронарное поражение является фактором риска интраоперационной несостоятельности и окклюзии шунта в отдаленном периоде. Проведен анализ 14 ретроспективных и 1 рандомизированного исследования применения интраоперационной ультразвуковой флоуметрии при КШ. Ультразвуковая флоуметрия в настоящее время эффективно используется для качественной и количественной оценки кровотока в шунтах КА и, таким образом, позволяет снизить количество технических ошибок при оперативных вмешательствах и улучшить отдаленный прогноз пациентов. При ДП КА часто отмечаются относительно невысокие показатели кровотока по шунтам, а их прогностическое значение для различных трансплантатов однозначно не определено.

**Ключевые слова:** коронарное шунтирование, флоуметрия, диффузное поражение коронарных артерий.

## Transit time flow measurement in patients with diffuse coronary artery disease during coronary artery bypass grafting

A.A. SHIRYAEV, D.M. GALYAUTDINOV, V.P. VASILIEV, V.Y. ZAIKOVSKII, SH.D. MUKIMOV, R.S. AKCHURIN

Federal State Budget Organization «National Medical Research Center of Cardiology» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, 3d Cherepkovskaya Str. 15a, Moscow, 121552, Russia

### Summary

Diffuse lesion (DL) of the coronary arteries (CA) is one of the most difficult situations from a prognostic point of view for performing coronary bypass surgery. The extent of the lesion and the presence of antegrade blood flow are risk factors for intraoperative failure and graft occlusion in the long-term period. The analysis of 14 retrospective and 1 randomized study of the use of intraoperative ultrasound flowmetry or TTFM (transit time flow measurement) for coronary bypass surgery was performed. TTFM is currently effectively used for qualitative and quantitative assessment of blood flow in CA bypass grafts and thus reduces the number of technical errors during surgical interventions and improves the long-term prognosis of patients. At the same time, relatively low blood flow rates for shunts are often observed in CA DL, and their prognostic value for various transplants is not clearly defined.

**Key words:** coronary artery bypass grafting, transit time flow measurement, diffuse lesion of the coronary arteries.

### Сведения об авторах:

**Ширяев Андрей Андреевич** — академик РАМН, профессор, руководитель лаборатории микрохирургии сосудов сердца отдела сердечно-сосудистой хирургии ФГБУ «НМИЦ кардиологии» Минздрава России; ORCID: 0000-0002-3325-9743.

**Галяутдинов Дамир Мажитович** — к. м. н., ст. научный сотрудник отдела сердечно-сосудистой хирургии ФГБУ «НМИЦ кардиологии» Минздрава России; ORCID: 0000-0002-0257-1398.

**Васильев Владислав Петрович** — к. м. н., ст. научный сотрудник отдела сердечно-сосудистой хирургии ФГБУ «НМИЦ кардиологии» Минздрава России; ORCID: 0000-0002-2297-6026.

**Зайковский Владимир Юрьевич** — аспирант отдела сердечно-сосудистой хирургии ФГБУ «НМИЦ кардиологии» Минздрава России; ORCID: 0000-0002-3312-9447.

**Мукимов Шохрух Дилошад Угли** (автор, ответственный за переписку) — аспирант отдела сердечно-сосудистой хирургии ФГБУ «НМИЦ кардиологии» Минздрава России; e-mail: shohruhmukimov@mail.ru; +7 (925) 856-82-32; ORCID: 0000-0001-6191-5210.

**Акчурин Ренат Сулейманович** — академик РАМН, профессор, руководитель отдела сердечно-сосудистой хирургии ФГБУ «НМИЦ кардиологии» Минздрава России; ORCID: 0000-0002-6726-4612.

## Введение

Несмотря на высокую эффективность операции аортокоронарного шунтирования (АКШ), по различным данным, послеоперационный инфаркт миокарда (ИМ) после АКШ возникает в 2–15% случаев [1, 2]. При этом частота окклюзии шунтов в госпитальном периоде может достигать 5–11% [3]. В дальнейшем в течение первого года после АКШ происходит окклюзия 10–15% шунтов [3]. Большинство исследователей считают, что основным фактором, определяющим уровень неблагоприятных сердечно-сосудистых событий после АКШ, является именно состоятельность трансплантата [4]. Известно, что низкие показатели кровотока в аортокоронарных шунтах при технических ошибках, конкурентном потоке и плохом дистальном русле приводят к низкой проходимости и высокому риску окклюзии шунтов. В непосредственном послеоперационном периоде это может быть связано с тромбозом шунта вследствие его перегиба, сильного натяжения кондуита и наличия стеноза или диссекции в области анастомоза.

В настоящее время для оценки проходимости шунтов используются следующие методы визуализации: интраоперационная ангиография, флуоресцентная визуализация, электромагнитная флоуметрия (ЭФ) и интраоперационная ультразвуковая флоуметрия (ИУФ). У каждого из этих методов имеются преимущества, ограничения и недостатки в применении, различия в чувствительности и специфичности.

Преимуществом метода интраоперационной ангиографии для оценки проходимости шунтов и анастомозов является высокая чувствительность. Ограничением метода является риск развития контраст-индуцированной нефропатии как следствие использования контрастного вещества [4, 5].

Метод интраоперационной флуоресцентной визуализации интересен благодаря применению индоцианина зеленого (ICG) — нерадиоактивного недорогого флуоресцентного красителя, который посредством света в спектральном разложении около инфракрасной области спектра (NIR) позволяет визуализировать перфузию и перфузионные дефекты. Недостатками метода являются минимальная информация о характеристике потока в шунтах, длительность исследования (требуется не менее 4 минут на оценку 1 кондуита), «полуколичественная оценка» проходимости шунтов, а также затруднение визуализации шунтов, выделенных в лоскуте, по сравнению со скелетированными трансплантатами.

При ЭФ магнитное поле, которое индуцируется вокруг железного магнитного сердечника зонда электрическим током, создает разность напряжений в проводящем поле. Два небольших электрода, расположенных напротив друг друга, регистрируют создаваемое напряжение и генерируют электрический сигнал, пропорциональный скорости потока. Таким образом, объем потока может быть измерен, только если известна площадь поперечного сечения сосуда. Точное измерение зависит от наличия зонда, который плотно прилегает к стенке сосуда, предварительной калибровки и сегментного воздействия на сосуд. ЭФ не может быть использована для всех видов сосудов, так как отмечаются значительные погрешности измерения. Кроме того, для получения удовлетворительного окружного контакта хирург должен полностью обнажить артерию, и это может привести к повреждению стенки трансплантата или вызвать спазм сосудов. Также должны иметься стерильные зонды различного диаметра [6].

Наиболее часто используемым методом интраоперационного исследования кровотока по шунтам в настоящее время является ИУФ, или TTFM (Transit Time Flow Measurement). К преимуществам метода относятся простота в применении, неинвазивность, экономическая эффективность и возможность гемодинамической оценки кровотока, в отличие от ангиографии [4, 7]. ИУФ выполняется после формирования шунтов и завершения искусственного кровообращения. Подбирается ультразвуковой датчик калибра, который соответствует шунту. В зависимости от хирургического вмешательства требуются датчики для венозных шунтов размером 3–5 мм, для внутригрудной артерии — 2–3 мм. Для венозных шунтов датчик устанавливается в среднем сегменте шунта. Артериальные кондуиты, такие как внутригрудная артерия, должны быть освобождены от окружающих тканей в области измерения по соответствующей ширине датчика, что составляет 1–2 см. При комбинированном и секвенциальном шунтировании последовательно оценивается каждый участок кондуита перед дистальным анастомозом [10, 11].

Первые попытки определения проходимости шунтов предпринимались в 1970-х годах [6, 8]. С тех пор принципы и особенности клинического применения методов оценки проходимости трансплантатов во время операции неоднократно оценивались и анализировались [6, 9, 11].

Согласно рекомендациям 2010 и 2014 года Европейского общества кардиологов [12, 13], использование ИУФ рекомендовано для коррекции результатов шунтирования, профилактики непроходимости шунтов и потенциального снижения смертности и неблагоприятных сердечно-сосудистых событий (класс рекомендаций I, уровень доказательности C). Несмотря на это, в 2017 году интраоперационная оценка проходимости шунтов проводилась лишь в 30% случаев [12].

Целью настоящего обзора является анализ влияния использования метода ИУФ на непосредственные и отдаленные результаты операции АКШ, в частности при сомнительных и пограничных значениях интраоперационных измерений.

## Материал и методы

Проведен анализ литературы в поисковых системах PubMed, Google Scholar, Scopus с 1990 по 2020 год на английском и русском языках с поиском ключевых слов TTFM (Transit Time Flow Measurement), Competitive Graft Flow, «интраоперационная ультразвуковая флоуметрия», «диффузное поражение коронарных артерий», «операция коронарного шунтирования (КШ)».

В обзор включены 15 исследований, в которых описывались методики проведения интраоперационной оценки проходимости шунтов, анализировались причины низких показателей TTFM при отсутствии технических ошибок, функциональные пробы, а также непосредственные и отдаленные результаты после вмешательства с применением метода.

## Результаты

В литературе представлено 15 крупных исследований, касающихся прогностической роли относительно невысоких показателей интраоперационной флоуметрии (ИФ) у пациентов во время АКШ при отсутствии технических ошибок (табл. 1) [14].

Таблица 1. Основные исследования, посвященные изучению интраоперационной флоуметрии

| Авторы, год                       | Тип исследования                                                       | Цель исследования                                                                                                                                                                                                                           | Пациенты и методы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Y. Tokuda et al. [15], 2007       | Ретроспективное наблюдательное исследование                            | Определить оптимальные критерии интраоперационной флоуметрии для предотвращения ранней несостоятельности шунтов.                                                                                                                            | 123 пациента с 261 шунтом (маммарная артерия, венозные шунты, шунты из лучевых артерий).                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| G. Di Giammarco et al. [16], 2006 | Ретроспективное наблюдательное исследование                            | Оценить прогностическую способность интраоперационной флоуметрии для оценки проходимости венозных шунтов.                                                                                                                                   | 157 пациентов с 304 шунтами (157 левых маммарных артерий, 62 правые маммарные артерии, 3 желудочно-сальниковые артерии, 2 лучевые артерии, 3 нижние эпигастральные артерии).<br>Наблюдение: $6,7 \pm 4,8$ месяца.<br>Ангиография.                                                                                                                                          |
| P. Lehnert et al. [17], 2015      | Ретроспективный анализ 2 рандомизированных контролируемых исследований | Оценить корреляцию между показателями интраоперационной флоуметрии и несостоятельностью шунтов через 1 год наблюдения по результатам ангиографии (интраоперационная флоуметрия не имела отношения к первичной конечной точке исследований). | 345 пациентов с 982 шунтами (маммарные артерии, лучевые артерии, венозные шунты).<br>Наблюдение: 1 год.<br>Ангиография.                                                                                                                                                                                                                                                    |
| N.D. Desai et al. [22], 2006      | Ретроспективное наблюдательное исследование                            | Сравнить диагностическую ценность различных методов интраоперационной оценки проходимости шунтов.                                                                                                                                           | 139 шунтов, сравнение с флуоресцентной ангиографией.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| H. Nakajima et al. [23], 2006     | Ретроспективное наблюдательное исследование                            | Оценить кровоток в шунтах через 2 недели после вмешательства и в отдаленном периоде.                                                                                                                                                        | Исследованы ангиограммы 2083 шунтов у 570 пациентов.<br>Наблюдение: 3 года.                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| D.P. Taggart et al. [24], 2019    | Проспективное мультицентровое исследование                             | Цель исследования — оценить влияние флоуметрии на принятие решений в ходе операции шунтирования.                                                                                                                                            | В исследование включены 1016 пациентов.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| М.А. Потеев с соавт. [25], 2017   | Ретроспективное наблюдательное исследование                            | Цель исследования — изучить непосредственные результаты интраоперационной флоуметрии у больных, перенесших операцию коронарного шунтирования.                                                                                               | Для ретроспективного исследования были отобраны 262 пациента, которым в 2014–2016 годах было выполнено КШ, как изолированное (248 операций), так и в сочетании с коррекцией патологии клапанов (7 операций) или аневризмы левого желудочка (7 операций). Критерием включения было выполнение интраоперационной ультразвуковой доплеровской флоуметрии кровотока по шунтам. |
| В.В. Базылев с соавт. [26], 2015  | Ретроспективное наблюдательное исследование                            | Цель исследования — сравнить результаты ультразвуковой флоуметрии левой внутренней грудной артерии при шунтировании передней нисходящей артерии с использованием искусственного кровообращения и на работающем сердце.                      | С 2010 года шунтирование выполнено у 352 пациентов. Для ретроспективного исследования больные были разделены на 2 группы: в 1-ю группу включены 120 больных, которым выполнялась операция в условиях искусственного кровообращения, в 2-ю группу — 232 больных, которым выполнялись операции на работающем сердце.                                                         |

## Основные результаты

Средний кровоток по шунту — 15 мл/мин, индекс пульсативности — 5,1 и % обратного тока — 4,1% были оптимальными показателями для прогноза проходимости шунтов к передней межжелудочковой артерии. Для шунтов к правой коронарной артерии оптимальными показателями были средний кровоток по шунту — 20 мл/мин, индекс пульсативности — 4,7 и % обратного тока — 4,6%. Положительная прогностическая способность метода составила 0,31–0,48 и 0,53–0,80 для передней межжелудочковой артерии. Отрицательная прогностическая способность 0,92–0,96 для обеих коронарных артерий.

Средний кровоток по шунту — 15 мл/мин., индекс пульсативности — 3,0 и % обратного тока — 3% стали независимыми предикторами несостоятельности шунта в течение первого года.

Для маммарной артерии наблюдалось снижение частоты несостоятельности шунтов на 4% с каждым увеличением показателей на 1 мл/мин (отношение шансов, 0,96; 95% доверительный интервал — 0,93–0,99;  $p = 0,005$ ).

Для венозных шунтов наблюдалось снижение частоты несостоятельности шунтов на 2% с каждым увеличением показателей на 1 мл/мин (отношение шансов, 0,98; 95% доверительный интервал — 0,97–1,00;  $p = 0,059$ ).

Статистически значимые различия между показателями интраоперационной флоуметрии и риском несостоятельности шунтов для лучевых артерий, секвенциальных и Y-графтов.

Чувствительность и специфичность флуоресцентной ангиографии для обнаружения стеноза шунта более 50% или его окклюзии составили 83,3% и 100% соответственно. При этом чувствительность и специфичность метода составили 25% и 98% соответственно.

Исходно кровоток определялся как антеградный, конкурентный, ретроградный или отсутствующий. Из шунтов с конкурентным кровотоком по результатам коронарографии (через 2 недели после вмешательства) 75% были окклюзированы через  $56 \pm 31$  месяц, что достоверно превышало показатели окклюзии при антеградном кровотоке ( $p < 0,001$ ).

Принятие решений в ходе шунтирования изменилось в 25,2% случаев ( $n = 256$ ), и 77% этих изменений (197 из 256) базировались на показателях ультразвуковой флоуметрии.

Проведен анализ 609 проб интраоперационной флоуметрии у 262 пациентов, перенесших процедуру коронарного шунтирования. В результате было установлено, что в 519 пробах (85,3% от общего числа проб) у 185 больных (70,6% от общего числа больных) значения кровотока соответствовали показателям, которые удовлетворяли критериям адекватности. Соответственно, в 90 пробах (14,7% всех случаев проб) у 77 больных (29,4% от общего числа больных) кровоток отличался от принятых за основу «нормальных» показателей.

Операции АКШ передней нисходящей артерии в условиях искусственного кровообращения позволили достичь более высокой объемной скорости кровотока по кондуиту ( $p = 0,01$ ).

В исследовании Y. Tokuda с соавт. [15] проводилась оценка проходимости трансплантатов у 261 пациента с последующим ангиографическим контролем у 123 пациентов через 3 месяца. Результаты наблюдения продемонстрировали, что ИУФ может быть полезным методом для прогнозирования ранней недостаточности трансплантатов. Через 1 год группой исследователей проводилась оценка 104 трансплантатов у 51 пациента с последующим проведением шунтографии, выполненной через 1–4 года после операции. Это исследование также продемонстрировало, что ИУФ является качественным методом для определения прогноза промежуточных результатов АКШ.

В работе D. Giammarco с соавт. [16] было изучено 304 трансплантата у 157 пациентов, подвергшихся послеоперационной ангиографии в течение первого года наблюдения (среднее время наблюдения составило  $6,7 \pm 4,8$  месяца). Из 38 нефункционирующих трансплантатов у 5 были выявлены технически неприемлемые анастомозы. В оставшихся 33 трансплантатах комбинированный набор значений трех основных параметров (средний поток, пульсативный индекс и процент обратного потока) позволил предсказать несостоятельность трансплантата (анатомическую или функциональную) в течение первого послеоперационного года с высокой вероятностью как для артериальных ( $p = 0,001$ ), так и для венозных ( $p = 0,002$ ) трансплантатов, что в очередной раз подчеркнуло ценность ИУФ как метода прогнозирования краткосрочной и среднесрочной проходимости трансплантата.

В исследовании P. Lehnert с соавт. [17] было включено 345 пациентов, у которых была выполнена интраоперационная оценка 982 шунтов. Через 1 год наблюдения в популяции было выявлено 12% несостоятельных шунтов по результатам шунтографии. При этом регрессионный анализ результатов продемонстрировал, что при увеличении среднего потока по результатам флоуметрии на каждый миллилитр в минуту частота несостоятельности маммарных шунтов снижалась на 4% ( $p = 0,005$ ). Для венозных шунтов, однако, достоверного влияния ИФ на прогноз получено не было ( $p = 0,059$ ). При этом чувствительность метода в наблюдении составила 69,5%.

Такие же результаты были получены в 4 других исследованиях: применение ИУФ не являлось независимым предиктором несостоятельности шунтов [18–20].

При анализе влияния отдельных показателей флоуметрии в большинстве исследований была продемонстрирована прямая связь между показателями среднего потока  $\geq 20$  мл/мин и отделенными результатами шунтирования как для маммарной артерии, так и для венозных шунтов [14].

Анализ клинических исходов коронарного шунтирования (КШ) при выполнении интраоперационной оценки шунтов с использованием ультразвуковой флоуметрии был проведен в рандомизированном исследовании GRIP [21]. При этом частота неблагоприятных сердечно-сосудистых событий, включавших смерть, ИМ и повторную реваскуляризацию, составила 7,7% и достоверно не отличалась в группе с применением флоуметрии и контрольной группе. Таким образом, рутинная оценка шунтов с использованием флоуметрии не приводила к снижению неблагоприятных событий через 1 год наблюдения [21].

В рандомизированном исследовании N.D. Desai с соавт. [22] ИУФ была выполнена в 139 случаях. При этом метод сравнивался с флуоресцентной ангиографией. Чувствительность и специфич-

ность флуоресцентной ангиографии для обнаружения стеноза шунта более 50% или его окклюзии составили 83,3% и 100% соответственно. При этом чувствительность и специфичность ИУФ составили 25% и 98% соответственно.

В работе Н. Nakajima с соавт. [23] проводилась оценка кровотока в шунтах методом ангиографии через 2 недели после вмешательства и в отдаленном периоде. Исходно кровоток определялся как антеградный, конкурентный, ретроградный или отсутствующий. Из шунтов с конкурентным кровотоком по результатам коронарографии (через 2 недели после вмешательства) 75% были окклюзированы через  $56 \pm 31$  месяц. Результаты наблюдений свидетельствуют о необходимости проведения масштабных исследований для оценки влияния ИУФ на ранние послеоперационные исходы для более точного анализа чувствительности и специфичности метода.

Интересными являются результаты проспективного многоцентрового исследования, проведенного D.P. Taggart с соавт. в 2019 году [24]. Целью исследования была оценка влияния флоуметрии на принятие решений в ходе операции АКШ. В исследование было включено 1016 пациентов. Принятие решений в ходе АКШ изменилось в 25,2% случаев ( $n = 256$ ), и 77% этих изменений (197 из 256) базировались на показателях ультразвуковой флоуметрии.

В 2017 году было представлено ретроспективное наблюдение [25], посвященное изучению непосредственных результатов ИФ у больных, перенесших операцию КШ. Для ретроспективного исследования были отобраны 262 пациента, которым в 2014–2016 годах было выполнено КШ, как изолированное (248 операций), так и в сочетании с коррекцией патологии клапанов (7 операций) или аневризмы левого желудочка (7 операций). Критерием включения было выполнение интраоперационной ультразвуковой доплеровской флоуметрии кровотока по шунтам. Был проведен анализ 609 проб интраоперационной флоуметрии у 262 пациентов, перенесших процедуру КШ. В результате было установлено, что в 519 пробах (85,3% от общего числа проб) у 185 больных (70,6% от общего числа больных) значения кровотока соответствовали показателям, которые удовлетворяли критериям адекватности. Соответственно, в 90 пробах ИУФ (14,7% всех случаев проб) у 77 больных (29,4% от общего числа больных) кровоток отличался от принятых за основу «нормальных» показателей. Из 90 флоуметрий, с результатами отличными от адекватных, 24 пробы (27%) пришлось на шунты левой внутренней грудной артерии к передней нисходящей артерии, и 66 проб (73%) пришлось на венозные шунты в бассейны огибающей артерии и правой коронарной артерии.

В.В. Базылев с соавт. [26] в 2015 году опубликовали еще одно ретроспективное наблюдательное исследование оценки результатов флоуметрии левой внутренней грудной артерии (ВГА) при шунтировании передней нисходящей артерии (ПНА) с использованием искусственного кровообращения (ИК) и на работающем сердце. С 2010 года шунтирование выполнено у 352 пациентов. Для ретроспективного исследования больные были разделены на 2 группы: в 1-ю группу включены 120 больных, которым выполнялась операция в условиях ИК, в 2-ю группу — 232 больных, которым выполнялись операции на работающем сердце. Операции шунтирования ВГА-ПНА в условиях ИК позволили достичь более высокой объемной скорости кровотока по кондуиту ( $p = 0,01$ ).

## Обсуждение

Таким образом, результаты существующих в настоящее время наблюдений и клинических исследований не дают однозначных ответов о необходимости использования ИУФ в ежедневной клинической практике. Часть исследований четко демонстрируют значимость рекомендуемых показателей потока и индекса пульсативности в определении проходимости шунта, тогда как в других исследованиях влияние ИУФ на прогноз пациентов после АКШ отсутствует [14–21].

Чувствительность и специфичность данного метода также варьируют в различных наблюдениях [14].

Такие различия в результатах применения метода могут быть связаны с рядом причин, наиболее важной из которых является разнообразие определений несостоятельности шунтов и разные сроки наблюдения для оценки влияния метода ИУФ на прогноз послеоперационных результатов [13]. Несостоятельность шунтов через 1 год наблюдения может определяться причинами, не связанными с интраоперационной состоятельностью шунтов. В упомянутом ранее рандомизированном исследовании GRIP поднимается вопрос об отсутствии влияния рутинной ИУФ на отдаленный прогноз вмешательства, и ни интраоперационная ангиография, ни ИУФ не могут обладать реальной предсказательной способностью [22].

Тем не менее ИУФ может быть полезна для оценки рисков в ранний послеоперационный период, что также было продемонстрировано в имеющихся наблюдениях [27]. Особенно важно это для маммарного шунта, поскольку его несостоятельность в большинстве случаев определяется техническими проблемами во время вмешательства.

Несмотря на простоту, доступность и перспективность метода, ИУФ остается недостаточно хорошо изученной у пациентов с диффузным поражением коронарного русла. Современные рекомендации включают ИУФ в качестве метода для оценки качества выполнения АКШ с высоким классом рекомендаций, однако с низким уровнем доказательности. Рекомендованные показатели среднего потока для аутовенозных шунтов  $> 20$  мл/мин, для маммарных шунтов  $> 15$  мл/мин и индекса пульсативности  $< 5$  нашли отражение в ряде исследований, в связи с чем также внесены в рекомендации Европейского общества кардиологов 2018 года [28].

## Заключение

ИУФ — простая и эффективная методика, позволяющая выявить возможные технические ошибки при выполнении КШ интраоперационно и выполнить своевременную коррекцию результатов вмешательства. В настоящее время это наиболее часто используемый способ визуализации состоятельности шунтов во время операции. Несмотря на множество клинических исследований и рекомендаций, нет единого мнения о необходимости использования ИУФ в ежедневной клинической практике. Проблема требует дальнейшего изучения, так как общепринятые представления о значении ИУФ при диффузных и дистальных поражениях коронарных артерий и пограничных показателях кровотока в различных шунтах отсутствуют.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Kaiser GC. CABG: lessons from the randomized trials. *Ann. Thorac. Surg.* 1986;42(1):3–8. [https://doi.org/10.1016/s0003-4975\(10\)61823-1](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(10)61823-1)
- Conley MJ, Ely RL, Kisslo J, Lee KL, McNeer JF, Rosati RA. The prognostic spectrum of left main stenosis. *Circulation.* 1978;57(5):947–952. <https://doi.org/10.1161/01.cir.57.5.947>
- McKavanagh P, Yanagawa B, Zawadowski G, Cheema A. Management and Prevention of Saphenous Vein Graft Failure: A Review. *Cardiol. Ther.* 2017; 6(2): 203–223. <https://doi.org/10.1007/s40119-017-0094-6>
- Вечерский Ю.Ю., Затолокин В.В., Манвелян Д.В., Козлов Б.Н., Шипулин В.М. Способ интраоперационной диагностики состояния дистальных анастомозов шунтов при коронарном шунтировании не-окклюзированных коронарных артерий. Патент №268951. Российская Федерация. 20.05.2019. Бюл. № 16 [Vecherskiy YuYu, Zatolokin VV, Manvelyan DV, Kozlov BN, Shipulin VM. Sposob intraoperacionnoy diagnostiki sostoyaniya distal'nyh anastomozov shuntov pri koronarnom shuntirovanii neokklyuzirovannyh koronarnykh arterij. Patent №268951. Russia. 20.05.2019. Byul. № 16. (In Russ.)].
- Бокерия Л.А., Пурсанов М.Г., Петросян К.В., Соболев А.В., Варганов П.В., Бокерия О.Л., Донаканян С.А., Голубев Е.П., Караев А.В., Лосев В.В. Интраоперационная шунтография: оптимальный метод оценки проходимости коронарных шунтов и дальнейшего улучшения результатов хирургической реваскуляризации миокарда. Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. 2018;60(3):233–241. [Bokeriya LA, Pursanov MG, Petrosyan KV, Sobolev AV, Vartanov PV, Bokeriya OL, Donakanyan SA, Golubev EP, Karaev AV, Losev VV. Intraoperacionnaya shuntografiya: optimal'nyj metod ocenki prohodimosti koronarnykh shuntov i dal'nejshego uluchsheniya rezul'tatov hirurgicheskoy revaskulyarizacii miokarda. Grudnaya i serdechno-sosudistaya hirurgiya. 2018;60(3):233–241. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.24022/0236-2791-2018-60-3-233-241>
- Louagie YAG, Haxhe J-P, Buche M, Schoevaerds J-C. Intraoperative Electromagnetic Flowmeter Measurements in Coronary Artery Bypass Grafts. *Ann. Thorac. Surg.* 1993;57(2):357–364. [https://doi.org/10.1016/0003-4975\(94\)90997-0](https://doi.org/10.1016/0003-4975(94)90997-0)
- Галютдинов М., Румхиза А.М., Ширяев А.А., Акчурин Р.С. Возможности ультразвуковой флоуметрии при реваскуляризации миокарда с использованием аутоартериальных трансплантатов. Методология флоуметрии. 1997:15–22. [Galyutdinov M, Rumhizha AM, Shiryayev AA, Akchurin RS. Vozmozhnosti ul'trazvukovoj floumetrii pri revaskulyarizacii miokarda s ispol'zovaniem autoarterial'nyh transplantatov. Metodologiya floumetrii. 1997:15–22. (In Russ.)].
- Grondin CM, Meere C, Castonguay YR, Lepage G, Grondin P. Blood flow through aorta-to-coronary artery bypass grafts and early postoperative patency. A study of 100 patients. *Ann. Thorac. Surg.* 1971;12:574–81. [https://doi.org/10.1016/S0003-4975\(10\)64792-3](https://doi.org/10.1016/S0003-4975(10)64792-3)
- Balacumaraswami L, Taggart DP. Intraoperative imaging techniques to assess coronary artery bypass graft patency. *Ann. Thorac. Surg.* 2007;83(6):2251–2257. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2006.12.025>
- D'Ancona G, Karamanoukian HL, Ricci M, Bergsland J, Salerno TA. Graft patency verification in coronary artery bypass grafting: principles and clinical applications of transit time flow measurement. *Angiology.* 2000;51(9):725–731. <https://doi.org/10.1177/000331970005100904>
- Kieser TM, Taggart DP. The use of intraoperative graft assessment in guiding graft revision. *Ann. Cardiothorac. Surg.* 2018;7(5):652–662. <https://doi.org/10.21037/acs.2018.07.06>
- Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS); European Association for Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI), Wijns W et al. Guidelines on myocardial revascularization. *Eur. Heart J.* 2010;31(20):2501–2555. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehq277>
- Authors/Task Force members, Windecker S, Kolh P, Alfonso F, Collet JP, Cremer J, Falk V, Filippatos G, Hamm C, Head SJ, Juni P, Kappetein AP, Kastrati A, Knuuti J, Landmesser U, Laufer G, Neumann FJ, Richter DJ, Schaefer P, Sousa Uva M, Stefanini GG, Taggart DP, Torracca L, Valgimigli M, Wijns W, Witkowski A. 2014 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization: The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) Developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI). *Eur. Heart J.* 2014; 35(37):2541–2619. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehu278>
- 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;51(1):26–33. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezw203>
- Tokuda Y, Song MH, Ueda Y, Usui A, Akita T. Predicting early coronary artery bypass graft failure by intraoperative transit time flow measurement. *Ann. Thorac. Surg.* 2007;84(6):1928–1933. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2007.07.040>
- Di Giammarco G, Pano M, Cirmeni S, Pelini P, Vitolla G, Di Mauro M. Predictive value of intraoperative transit-time flow measurement for short-term graft patency in coronary surgery. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2006;132(3):468–474. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2006.02.014>
- Lehnert P, Moller CH, Damgaard S, Gerds TA, Steinbruchel DA. Transit-time flow measurement as a predictor of coronary bypass graft failure at one year angiographic follow-up. *J. Card. Surg.* 2015;30(1):47–52. <https://doi.org/10.1111/jocs.12471>
- Handa T, Orihashi K, Nishimori H, Nishimori T, Fukutomi T, Yamamoto M, Kondo N, Tashiro M. Maximal blood flow acceleration analysis in the early diastolic phase for in situ internal thoracic artery bypass grafts: a new transit-time flow measurement predictor of graft failure following coronary artery bypass grafting. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2015;20(4):449–457. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivu448>
- Uehara M, Muraki S, Takagi N, Yanase Y, Tabuchi M, Tachibana K, Miyaki Y, Ito T, Kawaharada N, Higami T. Evaluation of gastroepiploic arterial grafts to right coronary artery using transit-time flow measurement. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2015;47(3):459–463. <https://doi.org/10.1093/ejcts/ezu229>
- Walker PF, Daniel WT, Moss E, Thourani VH, Kilgo P, Liberman HA, Devireddy C, Guyton RA, Puskas JD, Halkos ME. The accuracy of transit time flow measurement in predicting graft patency after coronary artery bypass grafting. *Innovations (Phila).* 2013;8(6):416–419. <https://doi.org/10.1097/IMI.0000000000000021>
- Gao G, Zheng Z, Pi Y, Lu B, Lu J, Hu S. Aspirin plus clopidogrel therapy increases early venous graft patency after coronary artery bypass surgery a single-center, randomized, controlled trial. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2010;56(20):1639–1643. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2010.03.104>
- Desai ND, Miwa S, Kodama D, Koyama T, Cohen G, Pelletier MP, Cohen EA, Christakis GT, Goldman BS, Fremes SE. A randomized comparison of intraoperative indocyanine green angiography and transit-time flow measurement to detect technical errors in coronary bypass grafts. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2006;132(3):585–594. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2005.09.061>
- Nakajima H, Kobayashi J, Tagusari O, Niwaya K, Funatsu T, Kawamura A, Yagihara A, Kitamura S. Angiographic flow grading and graft arrangement of arterial conduits. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2006;132(5):1023–1029. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2006.06.019>
- Taggart DP, Thuijs JFM, Di Giammarco G, Puskas JD, Wendt D, Trachiotis GD, Kieser TM, Kappetein AP, Head SJ. Intraoperative transit-time flow measurement and high-frequency ultrasound assessment in coronary artery bypass grafting. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2020;159(4):1283–1292.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2019.05.087>
- Потеев М.А., Якубов Р.А. Интраоперационный менеджмент при коронарном шунтировании: флоуметрия как способ контроля качества ПМ. 2017;4(105):15–20. [Poteev MA, Yakubov RA. Intraoperacionnyj menedzhment pri koronarnom shuntirovanii: floumetriya kak sposob kontrolya kachestva.PM. 2017;4(105):15–20. (In Russ.)].
- Базылев В.В., Немченко Е.В., Карнахин В.А., Павлов А.А., Микulyak А.И. Коронарное шунтирование в условиях искусственного кровообращения против хирургии на работающем сердце: сравнение результатов ультразвуковой флоуметрии. Вестник хирургии Казахстана. 2015;1(41):42–49. [Bazylev VV, Nemchenko EV, Karnahin VA, Pavlov AA, Mikulyak AI. Koronarnoe shuntirovanie v usloviyakh iskusstvennogo krovoobrashcheniya protiv hirurgii na rabotayushchem serdce: sravnenie rezul'tatov ul'trazvukovoj floumetrii. Vestnik hirurgii Kazahstana. 2015;1(41):42–49. (In Russ.)].
- Kolozsvari R, Galajda Z, Ungvari T, Ungvari T, Szabo G, Raczi I, Szerafin T, Herzfeld I, Edes I, Peterffy A, Koszegi Z. Various clinical scenarios leading to development of the string sign of the internal thoracic artery after coronary bypass surgery: the role of competitive flow, a case series. *J. Cardiothorac. Surg.* 2012;7–12. <https://doi.org/10.1186/1749-8090-7-12>
- Neumann FJ, Sousa-Uva M, Ahlsson A, Alfonso F, Banning AP, Benedetto U, Byrne RA, Collet JP, Falk V, Head SJ, Juni P, Kastrati A, Koller A, Kristensen SD, Niebauer J, Richter DJ, Seferovic PM, Sibbing D, Stefanini GG, Windecker S, Yadav R, Zembala MO; ESC Scientific Document Group. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization [published correction appears in *Eur. Heart J.* 2019;40(37):3096]. *Eur. Heart J.* 2019;40(2):87–165. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy394>