



Сердце и сосуды | Heart and vessels

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1241>

Взаимосвязь дооперационных показателей перфузионной сцинтиграфии миокарда и флоуметрии маммарокоронарных шунтов у больных с ишемической кардиомиопатией

© Шипулин В.В.*, Гутор С.С., Андреев С.Л., Мочула А.В., Затолокин В.В., Шипулин В.М., Козлов Б.Н., Мишкина А.И., Завадовский К.В.

Научно-исследовательский институт кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра Российской академии наук; 634012 Томск, ул. Киевская, 111-А, Российская Федерация

Цель исследования: определение связи между предоперационными показателями перфузии миокарда по данным ОФЭКТ (ПСМ) и характеристиками кровотока по маммарокоронарным шунтам (МКШ) по данным интраоперационной флоуметрии у пациентов с ишемической кардиомиопатией (ИКМП).

Материал и методы. В исследование вошло 57 больных с ИКМП. Всем пациентам была выполнена предоперационная ПСМ с ^{99m}Tc -MIBI и интраоперационная флоуметрия кровотока по МКШ. Вычислялись следующие численные показатели флоуметрии: объемная скорость кровотока (Q), индекс сопротивления (PI) и диастолическое наполнение (DF). Проходимость анастомоза считалась удовлетворительной при нормальной форме флоуметрической волны, диастолически-доминантном кровенаполнении и значении Q более 11,5 мл/мин.

Результаты. Пациенты были разделены на 2 группы: с удовлетворительной ($n = 40$) и неудовлетворительной ($n = 17$) проходимостью шунта по данным интраоперационной флоуметрии. По данным ПСМ различия между группами были выявлены в показателях перфузии покоя (summed rest score, SRS) – $20,7 \pm 7,5\%$ и $29,8 \pm 4,0\%$; $p = 0,002$, общего дефицита перфузии (total perfusion deficit, TPD) в покое – $32,0 \pm 11,4$ и $43,0 \pm 7,2$; $p = 0,01$ и TPD в покое на территории передней нисходящей артерии – $20,7 \pm 7,5$ и $29,8 \pm 4,0$; $p = 0,002$. Кроме того, показатели флоуметрии различались у пациентов с хирургической реконструкцией левого желудочка и без нее (Q: 17 (11,5, 40,8) и 47 (25, 69,5) мл/мин, $p = 0,013$; PI: 3,9 (3,2, 7,4) и 2,4 (2,0, 3,6), $p = 0,001$, DF: 63,5 (44,5, 70,8) и 74 (66,0, 79,7)%, $p = 0,019$). TPD в покое, равный 26,85, был лучшим предиктором удовлетворительного состояния шунта (AUC = 0,771, чувствительность 83,3%, специфичность 78,1%).

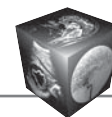
Заключение. Предоперационные характеристики перфузии миокарда ассоциированы с показателями кровотока по МКШ у пациентов с ишемической кардиомиопатией. TPD в покое и SRS могут являться потенциальными предикторами ранней недостаточности шунта.

Ключевые слова: перфузионная сцинтиграфия миокарда, интраоперационная флоуметрия, измерение аортокоронарного шунтирование, ишемическая болезнь сердца, ишемическая кардиомиопатия

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Шипулин В.В., Гутор С.С., Андреев С.Л., Мочула А.В., Затолокин В.В., Шипулин В.М., Козлов Б.Н., Мишкина А.И., Завадовский К.В. Взаимосвязь дооперационных показателей перфузионной сцинтиграфии миокарда и флоуметрии маммарокоронарных шунтов у больных с ишемической кардиомиопатией. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (4): 22–34. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1241>

Поступила в редакцию: 11.07.2022. **Принята к печати:** 20.02.2023. **Опубликована online:** 28.06.2023.



The preoperative myocardial perfusion and internal mammary artery graft blood flow relationship in patients with ischemic cardiomyopathy

© Vladimir V. Shipulin*, Sergey S. Gutor, Sergey L. Andreev, Andrey V. Mochula, Vasiliy V. Zatolokin, Vladimir M. Shipulin, Boris N. Kozlov, Anna I. Mishkina, Konstantin V. Zavadovsky

Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences; 111-A, Kievskaya str., Tomsk 634012, Russian Federation

Objective. The purpose of this study was to determine the association between preoperative myocardial perfusion data (obtained by SPECT) with transit time blood flow characteristics in left internal mammary artery (LIMA) to left anterior descending artery (LAD) grafts in patients with ischemic cardiomyopathy.

Methods. The study group consisted of 57 patients with ischemic cardiomyopathy. Intraoperative transit-time flow measurement (TTFM) of LIMA-LAD grafts were performed in all patients. All patients were also examined with preoperative stress and rest myocardial perfusion SPECT with ^{99m}Tc -MIBI. Anastomotic patency was considered satisfactory with a normal waveform of blood flow, diastolic-dominant blood filling, and a mean flow value greater than 11.5 ml/min.

Results. All 57 patients with LIMA-LAD grafts were divided into two groups; those with graft satisfactory patency ($n = 40$) and those with unsatisfactory patency ($n = 17$) as determined by TTFM. We found differences among these groups in values of global summed rest score (20.7 ± 7.5 vs. 29.8 ± 4.0 ; $p = 0.002$), global total perfusion deficit (TPD) at rest (32.0 ± 11.4 vs. 43.0 ± 7.2 ; $p = 0.01$), and regional TPD at rest in the LAD territory (20.7 ± 7.5 vs. 29.8 ± 4.0 ; $p = 0.002$). Additionally, the flow characteristics were different in patients with and without surgical left ventricle reconstruction (Q (ml/min): 17 ($11.5, 40.8$) vs. 47 ($25, 69.5$), $p = 0.013$; PI : 3.9 ($3.2, 7.4$) vs. 2.4 ($2.0, 3.6$), $p = 0.001$; DF (%): 63.5 ($44.5, 70.8$) vs. 74 ($66.0, 79.7$), $p = 0.019$). TPD at rest was the best predictor of the LIMA-LAD graft satisfactory: area under curve = 0.771, cut-off value = 26.85 with 83.3% sensitivity and 78.1% specificity.

Conclusions. Preoperative myocardial perfusion characteristics are associated with blood flow in LIMA-LAD graft in patients with ischemic cardiomyopathy. TPD at rest (assessed globally and in the LAD region) as well as global SRS value are potential predictors of early graft failure.

Keywords: transit-time flow measurement, myocardial perfusion imaging, coronary artery bypass grafting, coronary artery disease, ischemic cardiomyopathy

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Shipulin V.V., Gutor S.S., Andreev S.L., Mochula A.V., Zatolokin V.V., Shipulin V.M., Kozlov B.N., Mishkina A.I., Zavadovsky K.V. The preoperative myocardial perfusion and internal mammary artery graft blood flow relationship in patients with ischemic cardiomyopathy. *Medical Visualization*. 2023; 27 (4): 22–34. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1241>

Received: 11.07.2022.

Accepted for publication: 20.02.2023.

Published online: 28.06.2023.

Список сокращений

DF – диастолическое наполнение
DS – разница в региональной перфузии между нагрузкой и покоем
PI – индекс сопротивления
Q – объемная скорость кровотока
RS – региональная перфузия в покое
SDS – разница в перфузии между нагрузкой и покоем
SRS – показатели перфузии покоя
SS – региональная перфузия на фоне нагрузки
SSS – показатели перфузии на фоне нагрузки

TPD – общий дефицит перфузии
TTFM – транзитное время кровотока
ИКМП – ишемическая кардиомиопатия
АКШ – аортокоронарное шунтирование
КШ – коронарное шунтирование
МКШ – маммарокоронарный шунт/шунтирование
ОФЭКТ – однофотонная эмиссионная компьютерная томография
ПНА – передняя нисходящая артерия
ПСКМ – перфузионная скintiграфия миокарда
РЛЖ – реконструкция левого желудочка



Введение

Коронарное шунтирование (КШ) — метод, применяемый при тяжелой ишемической болезни сердца и являющийся показанным для пациентов с ишемической кардиомиопатией (ИКМП) [1]. Несмотря на то что большинство хронических стенозов коронарных артерий можно реваскуляризировать, успешность КШ сегодня не достигает абсолютных результатов [1–3]. Так, в литературе предполагается, что примерно 10% всех шунтов закрываются в короткие сроки, а проходимость их некоторые авторы называют “ахиллесовой пятой” КШ [4, 5].

На проходимость трансплантата влияют многие факторы, включая такие как внутримиокардиальное напряжение, тип кондуита и вид оформления трансплантата (в конфигурации Y и T), целевая артерия, режимы стимуляции сердца и атриовентрикулярной проводимости [6].

Таким образом, внутренняя грудная артерия (ВГА), часто используемая в качестве кондуита для реваскуляризации, признается наиболее надежным вариантом. Важным фактором является тщательный подбор целевой коронарной артерии. В ряде случаев кровоток по шунту может быть снижен из-за выраженной вазоконстрикции или морфологического состояния миокарда в реваскуляризируемой области, что в конечном итоге может привести к несостоятельности шунта [7–9].

До недавнего времени в широком доступе не имелось удобной методики оценки проходимости трансплантата, которая бы резко не увеличивала время операции. Таким методом стало измерение транзитного времени потока (ТТФМ) [10]. В 2010 г. данная методика была включена в рекомендации ESC (Европейского общества кардиологов) и EACTS (Европейской ассоциации кардиоторакальной хирургии) по реваскуляризации миокарда [4, 11–16]. Тем не менее критерии достаточного кровотока для различных типов шунтов до сих пор не установлены [17].

Предоперационная оценка перфузии миокарда с помощью однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) считалась полезным инструментом для прогнозирования регионарного функционального восстановления в акинетических зонах после КШ [18], но в указанном исследовании только 29% пациентов прошли предоперационную ОФЭКТ [2]. Кроме того, предоперационная оценка перфузии миокарда может дать клиницистам важную информацию, включая распространенность рубца и выраженность ишемии [19]. Представленное нами исследование было направлено на оценку связи между предоперационными данными перфузии миокарда и характеристиками кровото-

ка по данным интраоперационной флоуметрии внутренней грудной артерии (МКШ) к передней нисходящей артерии (ПНА) у пациентов с ИКМП.

Материал и методы

Исследуемая популяция

В исследование вошло 57 пациентов (средний возраст $61,1 \pm 5,1$ года, 95,7% мужчины) с ИКМП, которым по стандартным показаниям было выполнено МКШ к ПНА и реконструкция левого желудочка (ЛЖ) по показаниям [20].

Критериями включения были: $\geq 75\%$ стеноз ствола левой коронарной артерии или проксимального сегмента ПНА, или $\geq 75\%$ стеноз двух или более крупных эпикардиальных артерий; фракция выброса левого желудочка (ФВ) $\leq 40\%$; конечно-систолический индекс ЛЖ ≥ 60 мл/м² (по данным трансторакальной эхокардиографии) [20].

Критериями исключения были: < 3 мес после острого инфаркта миокарда; ревматические или воспалительные заболевания сердца; острый коронарный синдром; недавно перенесенное (менее 6 мес) острое нарушение мозгового кровообращения; острая или хроническая правожелудочковая недостаточность (по данным трансторакальной эхокардиографии); тяжелая легочная гипертензия; противопоказания к искусственному кровообращению; противопоказания к применению аденозина.

Исследование было одобрено локальным этическим комитетом и соответствовало Хельсинкской декларации. Письменное информированное согласие было получено от каждого пациента после объяснения протокола, его целей и потенциальных рисков.

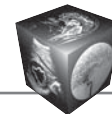
После операции пациенты были разделены на 2 группы по результатам ТТФМ (пороговое значение для Q = 11,5 мл/мин) [2].

Хирургическая техника

Все оперативные вмешательства выполнялись в условиях нормотермического искусственного кровообращения по стандартной методике. Большая подкожная вена и ВГА были выделены в соответствии со стандартной процедурой [21]. Во всех случаях ВГА подшивалась к ПНА (МКШ к ПНА). Секвенциальные шунты не применялись. Реконструкцию ЛЖ выполняли при наличии аневризмы ЛЖ (на основании предоперационного обследования и интраоперационной оценки [22, 23]) одним из следующих методов: методом D. Cooley или V. Dor в модификации L. Menicanti.

Коронароангиография

Коронароангиографию выполняли после катеризации бедренной артерии по методике



Сельдингера на системе Axiom Artis (Siemens, Эрланген, Германия) по единой схеме: мульти-проекционная правая, затем левая коронароангиография по методике M.P. Judkins [24]. Все коронароангиографии были выполнены в предоперационном периоде.

ТТФМ и критерии оценки состоятельности анастомоза

Измерение транзитного времени кровотока выполняли с помощью системы VeriQ (Medi-StimAS, Осло, Норвегия) после окончания основного этапа операции (наложение анастомозов, реконструкция желудочков и клапанов) в условиях естественного кровообращения и после достижения стабильных показателей гемодинамики (среднее артериальное давление 75–85 мм рт.ст.) [4, 25]. Параметры кровотока, полученные при этом исследовании, включали объемную скорость кровотока (Q, мл/мин), индекс сопротивления (PI) и диастолическое наполнение (DF, %).

В качестве дополнительных маркеров удовлетворительной проходимости анастомоза рассматривали значение Q более 11,5 мл/мин, нормальную форму волны кровотока и преобладание диастолической фазы кровенаполнения шунта [2].

Перфузионная сцинтиграфия миокарда

Как минимум за 24 ч до сканирования пациенты были проинструктированы воздерживаться от кофеина, веществ, содержащих метилксантин, а также избегать нитратов, блокаторов кальциевых каналов и бета-блокаторов. Все исследования были выполнены натощак.

Все исследования выполнялись по двухдневному протоколу нагрузка/покой в течение 1 нед до операции. В качестве нагрузки применялся комбинированный стресс-тест (аденозин, 140 мг/кг/мин, 6 мин + велоэргометр) [26]. Частота сердечных сокращений, артериальное давление и электрокардиограмма в 12 отведениях контролировались до, во время и после стресс-теста. ^{99m}Tc -MIBI в дозе 370 МБк вводили через 3 мин после начала стресс-теста и на следующий день при исследовании в покое [26]. Фармакологическое нагрузочное тестирование не привело к задержке предсердно-желудочковой (AB) проводимости и/или депрессии сегмента ST ни у одного пациента. Суммарная эффективная доза облучения составила 5,8–7,0 мЗв.

Запись исследований проводилась через час после инъекции ^{99m}Tc -MIBI как после нагрузочного стресс-теста, так и в покое. Все исследования проводились на гамма-камере GE Discovery NM/CT 570 с. Матрица сбора данных составляла 32 × 32

пикселя (размер пикселя 4 × 4 × 4 мм). Время записи составляло 7 мин. Исследование проходило в положении пациента лежа на спине с закинутыми за голову руками.

Постобработка изображений выполнялась на специальной рабочей станции (Xeleris 4.0, GE Healthcare, Хайфа, Израиль) с использованием алгоритма реконструкции maximum-penalized-likelihood iterative reconstruction (60 итераций; Green OSL Alpha 0,7; Green OSL Beta 0,3) для получения изображений перфузии по стандартным осям сердца (короткая ось, вертикальная длинная ось и горизонтальная длинная ось). Программное обеспечение Myovation for Alcyone (GE Healthcare, Хайфа, Израиль) использовали для реконструкции изображений, а к реконструированным срезам применяли фильтр постобработки Баттерворта (частота 0,37; порядок 7). Реконструкция выполнялась в матрице 70 × 70 пикселей с 50 срезами.

Интерпретация данных перфузионной сцинтиграфии миокарда

Необработанные данные нагрузки и покоя оценивали визуально на наличие артефактов движения и аттенуации. Изображения анализировали с помощью коммерчески доступного программного пакета Cedars QGS/QPS (Cedars-Sinai Medical Center, Лос-Анджелес, Калифорния, США).

Миокард ЛЖ был представлен в формате 17-сегментной полярной карты. Нарушения перфузии рассчитывали отдельно для каждой сосудистой территории согласно рекомендациям [26]. Каждый из 17 сегментов оценивали по полуколичественной 5-балльной системе: 0 – нормальная аккумуляция радиофармпрепарата; 1 – легкое снижение аккумуляции; 2 – умеренное снижение аккумуляции; 3 – выраженное снижение аккумуляции; 4 – отсутствие накопления радиофармпрепарата.

Перфузию миокарда оценивали глобально и для региона ПНА по следующим параметрам: SSS – суммарный индекс нарушения перфузии на нагрузке; SRS – суммарный индекс нарушения перфузии в покое; SDS – разность SRS и SSS общий дефицит перфузии (TPD) при нагрузке и в остальное [19, 26–29].

Методы статистического анализа

Для определения характера распределения полученных данных использовали критерий нормальности Шапиро–Уилка. При описании количественных показателей использовали среднее арифметическое значение, стандартное отклонение для нормально распределенных выборок, медиану и межквартильные интервалы (25-й и 75-й процен-



тель) для совокупностей, не подчиняющихся закону нормального распределения. Статистическую значимость межгрупповых различий количественных переменных анализировали с помощью t-критерия Стьюдента или U-критерия Манна-Уитни для непрерывных переменных и критерия χ^2 или точного критерия Фишера для категориальных переменных. Критерий Спирмена использовался для оценки коэффициента корреляции между количественными переменными. ROC-анализ был выполнен для оценки чувствительности и специфичности, а также в целях нахождения оптимального порогового значения модальности с точки зрения прогнозирования удовлетворительного состояния трансплантата. Площади под ROC-кривыми сравнивали по методу Делонга. Значение $p < 0,05$ считалось статистически значимым. Весь анализ про-

водился с использованием статистического программного обеспечения SPSS 19.0 (SPSS Inc., Чикаго, Иллинойс, США) и MedCalc версии 17.4 (MedCalc Software, Мариакерке, Бельгия).

Результаты

Клинические результаты

Характеристика исследуемых групп представлена в табл. 1. В 12 случаях для поддержки кровообращения использовалась внутриаортальная баллонная контрпульсация интраоперационно или в раннем послеоперационном периоде. Ранняя летальность (в течение 30 дней после операции) составила 10% (6/57). Причины ранней смерти были связаны с острой сердечной недостаточностью в 4 случаях и желудочно-кишечным кровотечением в 1 случае.

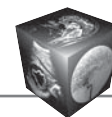
Таблица 1. Клиническая характеристика пациентов

Table 1. The clinical characteristics of study groups

Показатель Parameter	Q > 11,5 ml/min, n = 40	Q ≤ 11,5 ml/min, n = 17	p-value
Age, years / Возраст, годы	61.4 ± 4.9	59.9 ± 5.2	0.5
Diabetes Mellitus (2nd type) / Сахарный диабет 2 типа	8 (20%)	1 (6%)	0.06
NYHA class / NYHA класс, n (%):			
I	1 (3%)	1 (6%)	0.09
II	22 (55%)	2 (12%)	
III	14 (35%)	4 (24%)	
IV	3 (7%)	0 (%)	
CCS angina class / Стенокардия напряжения, класс, n (%):			
I	1 (3%)	1 (6%)	0.6
II	11 (27%)	4 (24%)	
III	27 (67%)	2 (12%)	
IV	1 (3%)	0 (%)	
The operation type / Тип операции, n (%):			
CABG / КШ	25 (63%)	2 (12%)	0.72
CABG + SVR / КШ + РЛЖ (D. Cooley)	7 (17%)	1 (6%)	
CABG + SVR / КШ + РЛЖ (L. Menicanti)	8 (20%)	4 (24%)	
Ultrasound data / Данные УЗИ:			
LV ESV / КСО	136 (120, 184)	169 (150, 185)	0.79
LV EDV / КДО	201 (189, 251)	237 (223, 272)	0.08
LV EF / ФВ, %	31.1 ± 6.1	30.1 ± 5.1	0.7
Others / Прочие параметры:			
Body-mass index, kg/m ² / ИМТ, кг/м ²	27.4 (25.3, 30.9)	27.5 (25.7, 31.5)	0.8
EuroSCORE 2	4.5 ± 2.1	4.0 ± 2.2	0.32

Примечание. Q – объемная скорость кровотока, NYHA – функциональный класс сердечной недостаточности согласно Нью-Йоркской ассоциации кардиологов, КШ – коронарное шунтирование, РЛЖ – реконструкция левого желудочка, КСО – конечный систолический объем, КДО – конечный диастолический объем, ФВ – фракция выброса, EuroSCORE – European System for Cardiac Operative Risk Evaluation.

Note. Q – mean graft flow, NYHA – functional class of heart failure according to the New York Heart Association, CCS CABG – Coronary artery bypass grafting, SVR – surgical ventricular reconstruction, LV – left ventricle, ESV – end-systolic volume, EDV – end diastolic volume, EF – ejection fraction, EuroSCORE – European System for Cardiac Operative Risk Evaluation.



Результаты коронарографии

Стеноз левой коронарной артерии (до 75%) выявлен в 9 случаях, хроническая окклюзия левой нисходящей артерии – в 20 (35%), стеноз более 75% – в 25 (44%), менее 70% – в 10 (17%) случаях. Выявлено следующее количество случаев стеноза других коронарных артерий: медианная артерия – 5 случаев, диагональная ветвь ПНА – 19, огибающая артерия – 13, артерия тупого края – 33, правая коронарная артерия – 36, задняя нисходящая артерия – 11 случаев.

Результаты коронарного шунтирования

Из 57 пациентов с МКШ к ПНА было 40 (70%) пациентов с удовлетворительной проходимостью шунта ($Q > 11,5$ мл/мин) и 17 (30%) с плохой проходимостью шунта ($Q \leq 11,5$ мл/мин).

В двух случаях МКШ к ПНА был единственным шунтом. В 17 случаях было наложено 2 шунта, в 28 случаях – 3 шунта, а в 10 случаях было наложено более 3 шунтов.

Измерение транзитного расхода

Характеристики кровотока по шунтам представлены в табл. 2. Группы пациентов имели значимую разницу в PI. Значения Q коррелировали со значениями PI ($r = -0,611$, $p < 0,001$) и DF ($r = 0,418$, $p = 0,003$).

Несмотря на наличие хронической окклюзии ПНА в 20 случаях, не было статистически значимой разницы в измерениях кровотока между пациентами с хронической окклюзией ПНА и без нее. Однако такие различия были обнаружены между группами с хирургической реконструкцией ЛЖ и без нее (табл. 3).

Таблица 2. Результаты интраоперационных измерений транзитного времени кровотока по МКШ к ПНА

Table 2. Results of intraoperative transit-time flow measurements in left internal mammary artery to left anterior descending artery grafts

Транзитное время кровотока Transit-time flow measurements	$Q > 11,5$ ml/min n = 40	$Q \leq 11,5$ ml/min, n = 17	p-value
Q, ml/min	43 (23, 61.8)	8 (5.9, 10)	0.003
PI	3.0 (2.4, 3.7)	7.6 (4.3, 10.8)	0.002
DF, %	69.5 (58.5, 74.5)	59 (37.5, 64)	0.12

Примечание. Q – объемная скорость кровотока, PI – индекс сопротивления, DF – диастолическое наполнение.

Note. Q – mean graft flow, PI – pulsatility index, DF – diastolic filling.

Таблица 3. Влияние хронической окклюзии коронарной артерии и реконструкции левого желудочка на транзитное время кровотока по МКШ к ПНА

Table 3. The impact of CTO and SVR on results of intraoperative transit-time flow measurements in LIMA-LAD grafts

Транзитное время кровотока Transit-time flow measurements	Хроническая окклюзия ПНА With LAD CTO	Нет хронической окклюзии ПНА Without LAD CTO	p-value
Q, ml/min	36.5 (13.5, 53.5)	31 (16, 58)	0.73
PI	3.6 (2.8, 5.3)	2.9 (2.1, 4.1)	0.44
DF, %	67.5 (56.8, 73.3)	68.5 (60.3, 76)	0.7
Транзитное время кровотока Transit-time flow measurements	Реконструкция левого желудочка With SVR	Нет реконструкции левого желудочка Without SVR	p-value
Q, ml/min*	17 (11.5, 40.8)	47 (25, 69.5)	0.013
PI*	3.9 (3.2, 7.4)	2.4 (2.0, 3.6)	0.001
DF (%)*	63.5 (44.5, 70.8)	74 (66.0, 79.7)	0.019

Примечание. * – $p < 0.05$, ПНА – передняя нисходящая артерия, МКШ – маммарокоронарный шунт, Q – объемная скорость кровотока, PI – индекс сопротивления, DF – диастолическое наполнение.

Note. * – a statistically significant difference, $p < 0.05$, CTO – chronically totally occlusion, SVR – surgical ventricular reconstruction, LIMA – left internal mammary artery, LAD – to left anterior descending, Q – mean graft flow, PI – pulsatility index, DF – diastolic filling.



Результаты перфузионной скintiграфии миокарда

У всех пациентов было не менее 3 сегментов с нарушением перфузии миокарда. Мы обнаружили различия как для глобальных характеристик перфузии миокарда, так и для территории ПНА только при исследовании в покое (табл. 4). Репрезентативные примеры ОФЭКТ миокарда с удовлет-

ворительной и неудовлетворительной ТТФМ представлены на рис. 1.

Согласно ROC-анализу, TPD в покое был лучшим предиктором удовлетворительного состояния МКШ к ПНА: площадь под кривой = 0,771, пороговое значение = 26,85 с чувствительностью 83,3% и специфичностью 78,1%.

Данные о связи между параметрами ТТФМ и ПСМ представлены на рис. 2.

Таблица 4. Результаты ПСМ

Table 4. Results of SPECT MPI

Показатель Parameter	Q > 11,5 ml/min, n = 40	Q ≤ 11,5 ml/min, n = 17	p-value
Глобальные параметры / Global SPECT parameters			
SSS	27.3 ± 8.3	31.2 ± 5.1	0.051
TPD (stress)	38.7 ± 10.4	44.1 ± 7.3	0.088
SRS*	20.7 ± 7.5	29.8 ± 4.0	0.002
TPD (rest)*	32.0 ± 11.4	43.0 ± 7.2	0.01
SDS	4 (2, 7)	3 (2, 5)	0.9
Параметры в бассейне ПНА / LAD SPECT parameters			
SS	12.7 ± 6.0	15.0 ± 5.2	0.51
TPD (stress)	21.4 ± 8.9	24.1 ± 12.1	0.56
RS	10.8 ± 5.4	15.1 ± 4.7	0.06
TPD (rest)*	19.7 ± 9.6	25.1 ± 6.1	0.03
DS	0 (0, 2)	1 (0.3, 1.6)	0.53

Примечание. SSS – показатели перфузии на фоне нагрузки, SS – региональная перфузия на фоне нагрузки, SRS – показатели перфузии покоя, RS – региональная перфузия в покое, SDS – разница в перфузии между нагрузкой и покоем, DS – разница в региональной перфузии между нагрузкой и покоем, TPD – общий дефицит перфузии, Q – объемная скорость кровотока.

Note. SPECT MPI – Single-photon emission computed tomography myocardial perfusion imaging, SSS – summed stress score, TPD – total perfusion deficit, SRS – summed rest score, SDS – summed difference score, LAD – left anterior descending artery, SS – stress score, RS – rest score, DS – difference score.

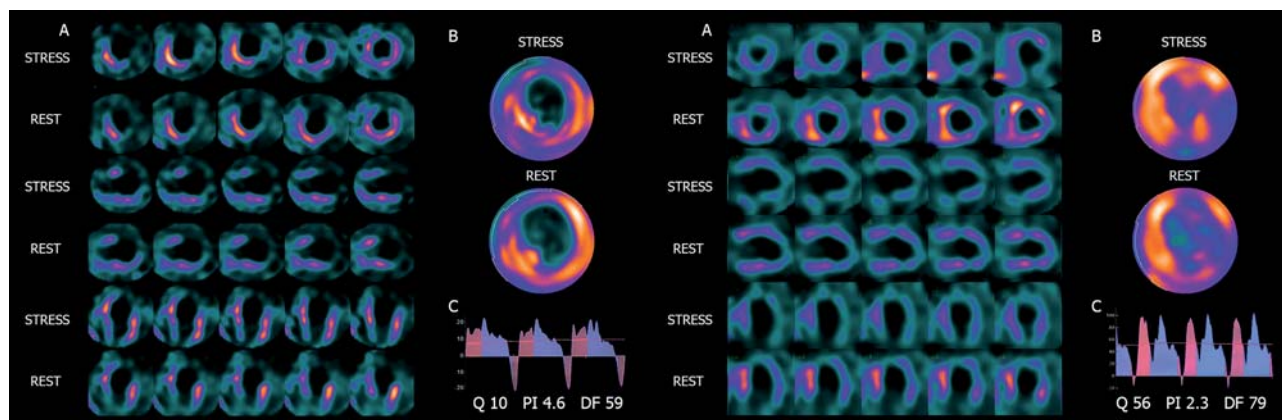


Рис. 1. Показатели перфузии по данным ПСМ (А, В) у пациентов с ишемической кардиомиопатией с неудовлетворительными ($Q < 11.5$, слева) и удовлетворительными ($Q > 11.5$, справа) показателями объемной скорости кровотока по МКШ к ПНА (С).

Fig. 1. The myocardial perfusion stress-rest SPECT (A, B) in ischemic cardiomyopathy patients with non-satisfactory ($Q < 11.5$, left) and satisfactory ($Q > 11.5$, right) flow in left internal mammary artery grafts during coronary artery bypass grafting (C).

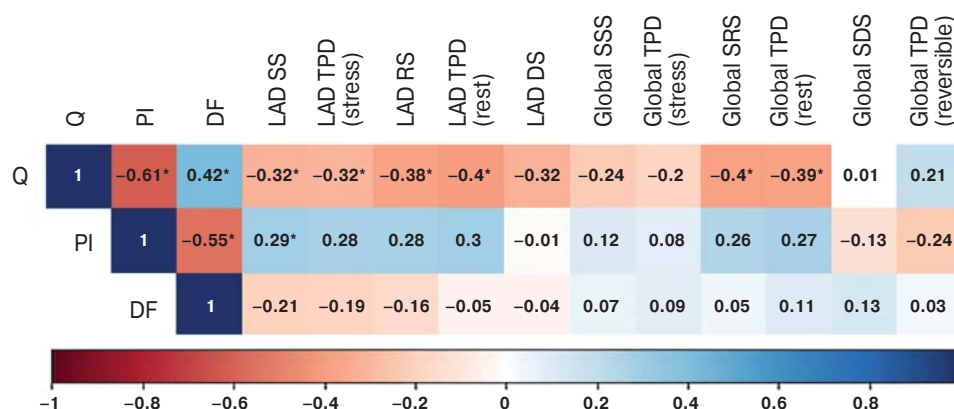
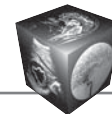


Рис. 2. Корреляции между TTFM и показателями ПСМ. Q – объемная скорость кровотока; PI – индекс сопротивления; DF – диастолическое наполнение; SSS – показатели перфузии на фоне нагрузки; SS – региональная перфузия на фоне нагрузки; SRS – показатели перфузии покоя; RS – региональная перфузия в покое; SDS – разница в перфузии между нагрузкой и покоем; DS – разница в региональной перфузии между нагрузкой и покоем; TPD – общий дефицит перфузии; * – statistically significant correlation, $p < 0,05$.

Fig. 2. Correlations between TTFM and MPI estimators. Q – mean graft flow; PI – pulsatility index; DF – diastolic filling; LAD – left anterior descending artery; SS – regional stress score; SSS – summed stress score; TPD – total perfusion deficit; SRS – summed rest score; SDS – summed difference score; * – statistically significant correlation, $p < 0.05$.

Обсуждение

Основные результаты этого исследования:

- 1) предоперационные показатели перфузии миокарда в покое в бассейне ПНА связаны с параметрами TTFM шунтов МКШ к ПНА у пациентов с ИКМП;
- 2) TPD в покое является лучшим предиктором удовлетворительного состояния МКШ к ПНА среди других параметров перфузии.

На TTFM влияют многие факторы, включая вазоспазм, диаметр трансплантата, площадь перфузии, морфологическое состояние миокарда, жизнеспособность миокарда, потребление миокардом кислорода, артериальное давление и сопротивление коронарных сосудов [5]. Одни из них появляются во время или после операции, другие существуют до нее. Оценка перфузии миокарда с помощью ОФЭКТ перед операцией позволяет хирургу оценить микроциркуляторное состояние миокарда и тем самым учесть еще один потенциальный фактор риска несостоятельности трансплантата.

TTFM и проходимость трансплантата

Низкие показатели TTFM коррелируют с риском закрытия МКШ при ангиографическом наблюдении в течение года [14]. Еще в самых ранних исследованиях PI был показан как перспективный параметр, далее было показано, что существенная разница была показана в значении Q между проходимыми и непроходимыми шунтами, но не в PI или DF [30, 31].

Согласно литературным данным, Q для неудовлетворительных артериальных протезов составля-

ет менее 10–20 мл/мин [6, 32]. P. Lehnert и соавт. [14] определили порог Q BGA как 20 мл/мин, а K. Honda и соавт. и G. Di Giammarco и соавт. указали, что сниженный $Q < 15$ мл/мин был обнаружен в неудовлетворительных трансплантатах BGA [12, 13, 33]. Мы считали трансплантат удовлетворительным с нормальной формой волны кровотока, преобладающим диастолическим кровенаполнением и Q более 11,5 мл/мин.

Значение PI может быть увеличено в очень длинных кондуитах (сопротивление кровотоку определяется, в том числе, длиной сосуда и повышением PI, связанным с худшим исходом) [17, 34]. Однако некоторые авторы полагали, что PI не имеет клинического значения [17, 25]. По нашим данным, у пациентов с неудовлетворительной проходимостью МКШ значение PI было повышено.

Основа измерений TTFM

По данным литературы, TTFM является быстрым и воспроизводимым интраоперационным методом прогнозирования состояния шунтов через 5 лет после операций КШ. Однако мало кто писал о причинах низких Q- или высоких значений PI, а также возможности их прогнозирования [6, 15, 33]. Известно, что технические ошибки при установке графтов могут привести к изменению TTFM, что позволяет использовать данную технику в целях обнаружения указанных ошибок. Но технические ошибки – не единственный источник изменений значений TTFM [35].



Кровеносный сосуд

Очевидно, что состояние сосудов, в том числе шунтов, оказывает влияние на кровоток по ним. Значения показателей на проксимальном конце кондуита можно рассматривать как сумму объема потока по шунту и потока, проходящего через дистальный анастомоз. Последнее зависит от многих факторов, таких как место пришивания шунта, стеноз коронарных артерий, коллатеральный и конкурентный потоки, а также тип шунта [25]. Измерения TTfM не зависят от диаметра трансплантата [36].

Прямых исследований влияния целевой артерии на TTfM не проводилось, вероятно, потому, что невозможно изолировать этот фактор от других. Однако Y. Tokuda и соавт. определили разные пороговые значения среднего кровотока для разных коронарных артерий (15 мл/мин для левой коронарной артерии и 20 мл/мин для правой коронарной артерии), которые могут быть индикатором такого влияния [37].

K. Honda и соавт. показали, что при прогрессировании коронарного стеноза увеличивается кровоток и снижается пульсационный индекс [33]. L. Niclauss в своем обзоре указывал на корреляцию между кровотоком и тяжестью стеноза артерий [17]. Однако наши данные свидетельствуют о том, что хроническая тотальная окклюзия целевой артерии не влияет на TTfM в шунтах, а низкий средний шунтирующий кровоток и высокий пульсационный индекс не являются специфическими для стеноза анастомоза. Это можно объяснить конкурентным кровотоком и плохим коронарным руслом [24].

Состояние других коронарных сосудов мало изучено: J.-P. Verhoye et al. [38] продемонстрировали выраженность и тип взаимосвязи коллатерального кровотока между шунтами левой коронарной артерии и хронически окклюзированной правой коронарной артерией у пациентов с трехсосудистым поражением. Однако влияние коллатерального кровообращения на проходимость трансплантата до сих пор недостаточно изучено [2]. Имеются данные о том, что конкурентный кровоток оказывает сильное влияние на удовлетворительное состояние трансплантата [39]. Конкурентные потоки крови могут возникать в случае артериального «Y»-шунтирования, направленного в разные коронарные русла при несбалансированных стенозах [11]. Эти данные послужили причиной для исключения любых комбинированных трансплантатов из анализа в настоящем исследовании.

Ишемия

В современных научных знаниях отсутствует информация о влиянии транзиторной ишемии

на какие-либо измерения TTfM после КШ [1, 2]. H. Oshima и соавт. [2] сообщили, что оценивали пациентов с помощью предоперационной ПСМ, но не описали свои результаты в контексте прогнозирования TTfM. В других источниках для оценки состояния шунта после КШ использовали ПСМ, но подробный анализ не проводился [40–45]. По нашим данным, ишемия при предоперационной ПСМ не влияла на Q, PI и DF.

Рубцовое поражение миокарда и реконструкция левого желудочка

Имеются исследования, направленные на установление значения ПСМ в прогнозировании регионарного функционального восстановления кровотока после КШ [1, 18, 46]. T. Murashita и соавт. [46] показали, что накопление радиофармпрепарата в сегменте более 50% является предиктором восстановления его после реваскуляризации. В нашем исследовании точка отсечения для RS бассейна кровоснабжения ПНА составила 15,5/28 (55,4%), что очень близко к данным T. Murashita.

Кроме того, поглощение препарата менее 50% является критерием наличия рубца, который часто присутствует у больных ИКМП с аневризмой ЛЖ [1]. Этим пациентам по показаниям выполнялась РЛЖ. У пациентов с РЛЖ наблюдалось снижение значений Q на фоне повышения значений PI. Причиной этого могут быть снижение коллатерального кровотока или ухудшение морфологического состояния миокарда перед операцией при наличии аневризмы верхушки/переднего отдела ЛЖ.

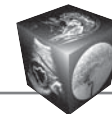
Согласно нашему исследованию, TPD была наиболее связана со значениями TTfM в МКШ к ПНА у пациентов с ИКМП. TPD более 14% считается повышенным [47, 48]. Наши данные свидетельствуют о том, что TPD в области ПНА > 26,85 является предиктором ранней несостоятельности МКШ у пациентов с ИКМП.

Ограничения исследования

Настоящее исследование имеет несколько ограничений: в него было включено небольшое число пациентов; подвижность стенок в бассейне кровоснабжения ПНА не оценивалась, и мы использовали пороговое значение для среднего потока кондуита, выявленное H. Oshima и соавт. (2016) [2], несмотря на продолжающийся спор о пороговых значениях в современной литературе. Влияние количества и типа шунтов не оценивалось.

Заключение

Мы должны согласиться с T. Kieser и соавт., которые определили, что применение TTfM позволяет нам видеть только часть картины [5]. TTfM явля-



ется надежным инструментом предотвращения технических ошибок при КШ, однако его применение ограничено вариабельностью предоперационного состояния миокарда. Параметры перфузии миокарда, оцениваемые с помощью ПСМ перед операцией (в частности, такие показатели, как TPD в покое и SRS), являются потенциальными предикторами ранней недостаточности шунта МКШ к ПНА у пациентов с РЛЖ.

Заявления и декларации

Авторы заявляют, что при подготовке данной рукописи не было получено никаких средств, грантов или другой поддержки.

Авторы не имеют соответствующих финансовых или нефинансовых интересов, которые необходимо раскрывать.

Все авторы внесли свой вклад в концепцию и дизайн исследования. Подготовку материала, сбор и анализ данных выполнили Гутор С.С., Андреев С.Л., Шипулин В.В., Мочула А.В., Затолокин В.В., Пряхин А.С., Шипулин В.М., Козлов Б.Н. и Завадовский К.В. Все авторы прочитали и одобрили окончательную рукопись.

Исследование было одобрено местным этическим комитетом (Комитет по биомедицинской этике Научно-исследовательского института кардиологии; номер разрешения: 178) и соответствовало Хельсинкской декларации об исследованиях на человеке. Письменное информированное согласие было получено от каждого пациента после объяснения протокола, его целей и потенциальных рисков.

Statements and Declarations

The authors declare that no funds, grants, or other support were received during the preparation of this manuscript.

The authors have no relevant financial or non-financial interests to disclose.

All authors contributed to the study conception and design. Material preparation, data collection and analysis were performed by Sergey S. Gutor, Sergey L. Andreev, Vladimir V. Shipulin, Andrey V. Mochula, Vasiliy V. Zatolokin, Andrey S. Pryahin, Vladimir M. Shipulin, Boris N. Kozlov, and Konstantin V. Zavadovsky. All authors read and approved the final manuscript.

The study was approved by the Local Ethical Committee (Committee on Biomedical Ethics, Cardiology Research Institute; Approval Number: 178) and conformed to the Declaration of Helsinki on Human Research. Written informed consent was obtained from each patient after explanation of the protocol, its aims, and potential risks.

Authors' participation

Shipulin V.V. – writing text, text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article, analysis and interpretation of the obtained data, approval of the final version of the article.

Gutor S.S. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, statistical analysis, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, review of publications, preparation and creation of the published work.

Andreev S.L. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data.

Mochula A.V. – collection and analysis of data, participation in scientific design, preparation and creation of the published work.

Zatolokin V.V. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data.

Shipulin V.M. – participation in scientific design, approval of the final version of the article.

Kozlov B.N. – concept and design of the study, approval of the final version of the article.

Mishkina A.I. – participation in scientific design, analysis and interpretation of the obtained data.

Zavadovsky K.V. – concept and design of the study, approval of the final version of the article.

Участие авторов

Шипулин В.В. – написание текста, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи, анализ и интерпретация полученных данных, утверждение окончательного варианта статьи.

Гутор С.С. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и анализ данных, статистический анализ, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, рецензирование публикаций, подготовка и создание публикуемой работы.

Андреев С.Л. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и анализ данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Мочула А.В. – сбор и анализ данных, участие в научном оформлении, подготовке и создании публикуемых работ.

Затолокин В.В. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и анализ данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Шипулин В.М. – участие в научном оформлении, утверждение окончательного варианта статьи.

Козлов Б.Н. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Мишкина А.И. – участие в научном оформлении, анализе и интерпретации полученных данных.

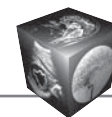
Завадовский К.В. – концепция и дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи.

Список литературы [References]

1. Шипулин В.М., Пряхин А.С., Андреев С.Л., Шипулин В.В., Козлов Б.Н. Современное состояние проблемы хирургического лечения ишемической кардиомиопатии. *Кардиология*. 2019; 59 (9): 71–82. <https://doi.org/10.18087/cardio.2019.9.n329>
Shipulin V.M., Pryakhin A.S., Andreev S.L. et al. Surgical Treatment of Ischemic Cardiomyopathy: Current State of



- the Problem. *Kardiologija*. 2019; 59 (9): 71–82. <https://doi.org/10.18087//cardio.2019.9.n329> (In Russian)
2. Oshima H., Tokuda Y., Araki Y. et al. Predictors of early graft failure after coronary artery bypass grafting for chronic total occlusion. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2016; 23: 142–149. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivw084>
 3. Velazquez E.J., Lee K.L., Deja M.A. et al. Coronary-artery bypass surgery in patients with left ventricular dysfunction. *N. Engl. J. Med.* 2011; 364 (17): 1607–1616. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1100356>
 4. Amin S., Werner R.S., Madsen P.L. et al. Intraoperative bypass graft flow measurement with transit time flowmetry: a clinical assessment. *Ann. Thorac. Surg.* 2018; 106: 532–538. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2018.02.067>
 5. Kieser T.M., Taggart D.P. Current status of intra-operative graft assessment: Should it be the standard of care for coronary artery bypass graft surgery? *J. Card. Surg.* 2018; 33: 219–228. <https://doi.org/10.1111/jocs.13546>
 6. Takami Y., Takagi Y. Roles of Transit-Time Flow Measurement for Coronary Artery Bypass Surgery. *Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2018; 66: 426–433. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1618575>
 7. Walpoth B.H., Mohadjer A., Gersbach P. et al. Intraoperative internal mammary artery transit-time flow measurements: comparative evaluation of two surgical pedicle preparation techniques. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 1996; 10: 1064–1068; discussion 1069–1070. [https://doi.org/10.1016/s1010-7940\(96\)80353-8](https://doi.org/10.1016/s1010-7940(96)80353-8)
 8. Wu S.-J., Li Y.-C., Shi Z.-W. et al. Alteration of cholinergic anti-inflammatory pathway in rat with ischemic cardiomyopathy-modified electrophysiological function of heart. *J. Am. Heart Assoc.* 2017; 6 (9): e006510. <https://doi.org/10.1161/JAHA.117.006510>
 9. Strecker T., Rösch J., Weyand M., Agaimy A. Pathological findings in cardiac apex removed during implantation of left ventricular assist devices (LVAD) are non-specific: 13-year-experience at a German Heart Center. *Int. J. Clin. Exp. Pathol.* 2014; 7: 5549–5556.
 10. Hol P.K., Fosse E., Mork B.E. et al. Graft control by transit time flow measurement and intraoperative angiography in coronary artery bypass surgery. *Heart Surg. Forum.* 2001; 4: 254–257; discussion 257–258.
 11. Neumann F.-J., Sousa-Uva M., Ahlsson A. et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *Eur. Heart J.* 2019; 40 (2): 87–165. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy394>
 12. Di Giammarco G., Pano M., Cirmeni S. et al. 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>
 13. 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: 2501–2555. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehq277>
 14. Lehnert P., Möller C.H., Damgaard S. et al. 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>
 15. Su P., Gu S., Liu Y. et al. Off-Pump Coronary Artery Bypass Grafting with Mini-Sternotomy in the Treatment of Triple-Vessel Coronary Artery Disease. *Int. Heart J.* 2018; 59: 474–481. <https://doi.org/10.1536/ihj.17-067>
 16. Yu Y., Zhang F., Gao M.X. et al. The application of intra-operative transit time flow measurement to accurately assess anastomotic quality in sequential vein grafting. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2013; 17 (6): 938–943. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivt398>
 17. 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>
 18. Hudorovic N., Visnja V.H. eComment. SPECT perfusion quantification for chronic total occlusion. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2016; 23 (1): 149. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivw134>
 19. Шипулин В.В., Саушкин В.В., Пряхин А.С., Андреев С.Л., Веснина Ж.В., Завадовский К.В. Возможности перфузионной сцинтиграфии миокарда в обследовании пациентов с ишемической кардиомиопатией. *REJR.* 2019; 9 (3): 155–175. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-3-155-175>
Shipulin V.V., Saushkin V.V., Pryakhin A.S. et al. The value of myocardium perfusion imaging in assessment of patients with ischemic cardiomyopathy. *REJR.* 2019; 9 (3): 155–175. <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2019-9-3-155-175> (In Russian)
 20. Felker G.M., Shaw L.K., O'Connor C.M. A standardized definition of ischemic cardiomyopathy for use in clinical research. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2002; 39 (2): 210–218. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(01\)01738-7](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(01)01738-7)
 21. Kirklin J.K., Blackstone E.H. Kirklin/Barratt-Boyes Cardiac Surgery, 4th Edition. Elsevier, 2013. 2256 p. ISBN 978-1416063919.
 22. Menicanti L., Di Donato M. The Dor procedure: what has changed after fifteen years of clinical practice? *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2002; 124 (5): 886–890. <https://doi.org/10.1067/mtc.2002.129140>
 23. Cooley D.A. Ventricular endoaneurysmorrhaphy: a simplified repair for extensive postinfarction aneurysm. *J. Card. Surg.* 1989; 4 (3): 200–205. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8191.1989.tb00282.x>
 24. Judkins M.P. Selective coronary arteriography. I. A percutaneous transfemoral technic. *Radiology.* 1967; 89 (5): 815–824. <https://doi.org/10.1148/89.5.815>
 25. Jelenc M., Jelenc B., Klokočovník T. et al. Understanding coronary artery bypass transit time flow curves: role of bypass graft compliance. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2014; 18 (2): 164–168. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivt457>
 26. Henzlova M.J., Duvall W.L., Einstein A.J. et al. ASNC imaging guidelines for SPECT nuclear cardiology procedures: Stress, protocols, and tracers. *J. Nucl. Cardiol.* 2016; 23 (3): 606–639. <https://doi.org/10.1007/s12350-015-0387-x>
 27. Cerqueira M.D., Weissman N.J., Dilsizian V. et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart. A statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association. *Circulation.* 2002; 105 (4): 539–542. <https://doi.org/10.1161/hc0402.102975>



28. Germano G., Kavanagh P.B., Waechter P. et al. A new algorithm for the quantitation of myocardial perfusion SPECT. I: technical principles and reproducibility. *J. Nucl. Med.* 2000; 41 (4): 712–719.
29. Ficaro E.P., Lee B.C., Kritzman J.N., Corbett J.R. Corridor 4DM: the Michigan method for quantitative nuclear cardiology. *J. Nucl. Cardiol.* 2007; 14 (4): 455–465. <https://doi.org/10.1016/j.nuclcard.2007.06.006>
30. Jokinen J.J., Werkkala K., Vainikka T. et al. Clinical value of intra-operative transit-time flow measurement for coronary artery bypass grafting: a prospective angiography-controlled study. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2011; 39 (6): 918–923. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2010.10.006>
31. Walker P.F., Daniel W.T., Moss E. et al. 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>
32. Di Giammarco G., Rabozzi R. Can transit-time flow measurement improve graft patency and clinical outcome in patients undergoing coronary artery bypass grafting? *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2010; 11 (5): 635–640. <https://doi.org/10.1510/icvts.2010.235663>
33. Honda K., Okamura Y., Nishimura Y. et al. Graft flow assessment using a transit time flow meter in fractional flow reserve-guided coronary artery bypass surgery. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2015; 149 (6): 1622–1628. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2015.02.050>
34. Kieser T.M., Rose S., Kowalewski R., Belenkie I. Transit-time flow predicts outcomes in coronary artery bypass graft patients: a series of 1000 consecutive arterial grafts. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2010; 38 (2): 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2010.01.026>
35. Leong D.K.H., Ashok V., Nishkantha A. et al. Transit-time flow measurement is essential in coronary artery bypass grafting. *Ann. Thorac. Surg.* 2005; 79 (3): 854–857; discussion 857–858. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2004.06.010>
36. Matre K., Birkeland S., Hessevik I., Segadal L. Comparison of transit-time and Doppler ultrasound methods for measurement of flow in aortocoronary bypass grafts during cardiac surgery. *Thorac. Cardiovasc. Surg.* 1994; 42 (3): 170–174. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1016481>
37. Tokuda Y., Song M.-H., Ueda Y. et al. 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>
38. Verhoye J.-P., Aboulatim I., Drochon A. et al. Collateral blood flow between left coronary artery bypass grafts and chronically occluded right coronary circulation in patients with triple vessel disease. Observations during complete revascularisation of beating hearts. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2007; 31 (1): 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2006.09.033>
39. Rossi M., Jiritano F., Malta E., Renzulli A. Competitive flow between a vein and an arterial graft at transit-time flow measurement. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2012; 15 (2): 288–289. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivs152>
40. Pinarli A.E., Gürsürer M., Aksoy M. et al. Assessment of graft patency rate after coronary artery bypass surgery by exercise TL-201 single photon emission computed tomography. *Int. J. Angiol.* 1998; 7 (4): 313–316. <https://doi.org/10.1007/s005479900122>
41. Taki J., Ichikawa A., Nakajima K. et al. Comparison of flow capacities of arterial and venous grafts for coronary artery bypass grafting: evaluation with exercise thallium-201 single-photon emission tomography. *Eur. J. Nucl. Med.* 1997; 24 (12): 1487–1493. <https://doi.org/10.1007/s002590050178>
42. Yada T., Futagami Y., Koyama T. et al. Graft patency and myocardial viability after aorto-coronary bypass surgery evaluated by exercise 201Tl myocardial SPECT. *J. Cardiol.* 1988; 18 (2): 299–306. (In Japanese)
43. Kureshi S.A., Tamaki N., Yonekura Y. et al. Value of stress thallium-201 emission tomography for predicting improvement after coronary bypass grafting and assessing graft patency. *Jpn. Heart J.* 1989; 30 (3): 287–299. <https://doi.org/10.1536/ihj.30.287>
44. Lakkis N.M., Mahmarian J.J., Verani M.S. Exercise thallium-201 single photon emission computed tomography for evaluation of coronary artery bypass graft patency. *Am. J. Cardiol.* 1995; 76 (3): 107–111. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(99\)80039-3](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(99)80039-3)
45. Al Aloul B., Mbaï M., Adabag S. et al. Utility of nuclear stress imaging for detecting coronary artery bypass graft disease. *BMC Cardiovasc. Disord.* 2012; 12: 62. <https://doi.org/10.1186/1471-2261-12-62>
46. Murashita T., Makino Y., Kamikubo Y. et al. Quantitative gated myocardial perfusion single photon emission computed tomography improves the prediction of regional functional recovery in akinetic areas after coronary bypass surgery: useful tool for evaluation of myocardial viability. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2003; 126 (5): 1328–1334. [https://doi.org/10.1016/s0022-5223\(03\)00822-5](https://doi.org/10.1016/s0022-5223(03)00822-5)
47. Slomka P., Xu Y., Berman D., Germano G. Quantitative analysis of perfusion studies: strengths and pitfalls. *J. Nucl. Cardiol.* 2012; 19 (2): 338–346. <https://doi.org/10.1007/s12350-011-9509-2>
48. Czaja M., Wygoda Z., Duszkańska A. et al. Interpreting myocardial perfusion scintigraphy using single-photon emission computed tomography. Part 1. *Kardiochir. Torakochirurgia Pol.* 2017; 14 (3): 192–199. <https://doi.org/10.5114/kitp.2017.70534>



Для корреспонденции*: Шипулин Владимир Владимирович – тел.: +7-923-401-64-05. E-mail: shipartphoto@gmail.com

Шипулин Владимир Владимирович – канд. мед. наук, научный сотрудник лаборатории радионуклидных методов исследования, НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-9887-8214>

Гутор Сергей Сергеевич – канд. мед. наук, научный сотрудник лаборатории радионуклидных методов исследования, НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0003-4402-0516>

Андреев Сергей Леонидович – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения сердечно-сосудистой хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0003-4049-8715>

Мочула Андрей Викторович – канд. мед. наук, старший научный сотрудник лаборатории радионуклидных методов исследования, НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0003-0883-466X>

Затолокин Василий Викторович – канд. мед. наук, научный сотрудник отделения сердечно-сосудистой хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0003-3952-9983>

Шипулин Владимир Митрофанович – доктор мед. наук, профессор, главный научный сотрудник аппарата управления, НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0003-1956-0692>

Козлов Борис Николаевич – доктор мед. наук, заведующий отделением сердечно-сосудистой хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-0217-7737>

Мишкина Анна Ивановна – канд. мед. наук, научный сотрудник лаборатории радионуклидных методов исследования, НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0001-9453-1635>

Завадовский Константин Валерьевич – доктор мед. наук, заведующий отделом лучевой диагностики, НИИ кардиологии Томского НИМЦ РАН, Томск. <https://orcid.org/0000-0002-1513-8614>

Contact*: Vladimir V. Shipulin – phone: +7-923-401-64-05. E-mail: shipartphoto@gmail.com

Vladimir V. Shipulin – Cand. of Sci. (Med.), research associate, department of nuclear medicine, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Russian Academy of Sciences, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-9887-8214>

Sergey S. Gutor – Cand. of Sci. (Med.), research associate, department of nuclear medicine, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Russian Academy of Sciences, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0003-4402-0516>

Sergey L. Andreev – Cand. of Sci. (Med.), senior researcher, department of cardiothoracic surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Russian Academy of Sciences, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0003-4049-8715>

Andrey V. Mochula – Cand. of Sci. (Med.), senior researcher, department of nuclear medicine, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Russian Academy of Sciences, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0003-0883-466X>

Vasiliy V. Zatolokin – Cand. of Sci. (Med.), research associate, department of cardiothoracic surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Russian Academy of Sciences, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0003-3952-9983>

Vladimir M. Shipulin – Doct. of Sci. (Med.), Professor, chief scientific officer, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Russian Academy of Sciences, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0003-1956-0692>

Boris N. Kozlov – Doct. of Sci. (Med.), Head of cardiothoracic surgery department, department of cardiothoracic surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Russian Academy of Sciences, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-0217-7737>

Anna I. Mishkina – Cand. of Sci. (Med.), research associate, department of nuclear medicine, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0001-9887-8214>

Konstantin V. Zavadovsky – Doct. of Sci. (Med.), Head of imaging department, imaging department, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Centre, Russian Academy of Sciences, Tomsk. <https://orcid.org/0000-0002-1513-8614>