

<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2026-41-1-161-171>
УДК 616.132.2-089.81-74-089.163-089.844:616.127-073.756.8

Особенности миокардиального кровотока у пациентов после чрескожных коронарных вмешательств перед операцией коронарного шунтирования в сравнении с пациентами без эндоваскулярных вмешательств

Затолокин В.В., Алишеров Ю.У., Панфилов Д.С., Мочула А.В.,
Завадовский К.В., Козлов Б.Н.

Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук (НИИ кардиологии Томского НИМЦ), 634012, Российская Федерация, Томск, ул. Киевская, 111а

Аннотация

Актуальность. Предшествующие эндоваскулярные вмешательства могут инициировать развитие микрососудистой дисфункции у пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС), которые способны негативно влиять на функцию коронарных шунтов после операции. Динамическая однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) миокарда представляет собой перспективный метод для неинвазивной диагностики данных нарушений.

Цель: сравнительная оценка миокардиального кровотока (МК) по данным ОФЭКТ на предоперационном этапе коронарного шунтирования (КШ) у пациентов с многососудистым поражением в зависимости от наличия или отсутствия чрескожного коронарного вмешательства (ЧКВ) в анамнезе.

Материал и методы. Проведено одноцентровое проспективное исследование, включившее 118 пациентов с ИБС, направленных на КШ. Пациенты были разделены на две группы: основная группа ($n = 60$) – пациенты с предшествующими ЧКВ в анамнезе (PCI-группа); группа контроля ($n = 58$) – пациенты без предшествующих эндоваскулярных вмешательств (No PCI-группа). Всем пациентам за 2 сут до операции проводилась динамическая ОФЭКТ миокарда с фармакологической нагрузкой для оценки абсолютных показателей МК и резерва миокардиального кровотока (РМК).

Результаты. Глобальный МК в покое не различался между группами. Однако в условиях стресс-нагрузки глобальный МК и РМК достоверно различались в группе PCI по сравнению с группой No PCI: 0,79 [0,38; 1,2] против 1,01 [0,55; 1,6] мл/мин/г ($p = 0,001$) и 1,4 [0,89; 1,8] против 1,73 [1,35; 2,4] мл/мин/г ($p = 0,003$) соответственно. По результатам селективного анализа установлено снижение РМК в бассейне передней нисходящей артерии (ПНА) (1,39 [0,81; 1,57] против 1,75 [1,38; 1,88], $p = 0,001$) и огибающей артерии (ОА) (1,29 [0,69; 1,47] против 1,71 [1,1; 1,91], $p = 0,013$) в группе PCI.

Заключение. У пациентов с предшествующими ЧКВ отмечается снижение как МК, так и РМК, свидетельствующее о развитии коронарной микрососудистой дисфункции, которая наиболее выражена в бассейне левой коронарной артерии. Выявленные нарушения могут оказывать влияние на отдаленные результаты КШ.

Ключевые слова:	чрескожные коронарные вмешательства; резерв миокардиального кровотока; однофотонная эмиссионная компьютерная томография; микрососудистая дисфункция; коронарное шунтирование.
Финансирование:	никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.
Соответствие принципам этики:	информированное согласие получено от каждого пациента. Исследование одобрено этическим комитетом НИИ кардиологии Томского НИМЦ (протокол № 188 от 18.09.2019 г.).
Для цитирования:	Затолокин В.В., Алишеров Ю.У., Панфилов Д.С., Мочула А.В., Завадовский К.В., Козлов Б.Н. Изучение миокардиального кровотока у пациентов перед операцией коронарного шунтирования после чрескожных коронарных вмешательств. <i>Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины</i> . 2026;41(1):161–171. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2026-41-1-161-171

Затолокин Василий Викторович, e-mail: zatolokin@cardio-tomsk.ru.

© Затолокин В. В., Алишеров Ю. У., Панфилов Д. С., Мочула А. В., Завадовский К. В., Козлов Б. Н., 2026

Myocardial blood flow in patients after percutaneous coronary interventions before coronary artery bypass grafting compared to patients without endovascular interventions

Zatolokin V.V., Alisherov Yu.U., Panfilov D.S., Mochula A.V.,
Zavadovsky K.V., Kozlov B.N.

Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences
(Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC), 111a, Kievskaya str., Tomsk, 634012, Russian Federation

Abstract

Background. Prior endovascular interventions can trigger the development of microvascular dysfunction in patients with coronary artery disease (CAD), which can negatively impact the function of coronary artery bypass grafts after surgery. Dynamic myocardial single-photon emission computed tomography (SPECT) is a promising method for the noninvasive diagnosis of these disorders.

Aim: To evaluate myocardial blood flow using SPECT in patients with multivessel coronary artery disease and prior percutaneous coronary interventions (PCI) before coronary artery bypass grafting (CABG).

Material and Methods. A single-center prospective study was conducted, including 118 patients with CAD referred for CABG. Patients were divided into two groups: the main group ($n = 60$) – patients with a history of prior PCI (PCI group); the control group ($n = 58$) – patients without previous endovascular interventions (No PCI group). All patients underwent dynamic myocardial SPECT with a pharmacological load 2 days before surgery to assess absolute parameters of myocardial blood flow (MBF) and coronary flow reserve (CFR).

Results. Global myocardial blood flow at rest did not differ between the groups. However, under stress load conditions, global MBF and CFR were significantly lower in the PCI group compared to the No PCI group: 0.79 [0.38; 1.2] ml/min/g versus 1.01 [0.55; 1.6] ml/min/g ($p = 0.001$) and 1.4 [0.89; 1.8] versus 1.73 [1.35; 2.4] ($p = 0.003$), respectively. Selective analysis revealed a significant decrease in CFR in the anterior descending artery (1.39 [0.81; 1.57] vs. 1.75 [1.38; 1.88], $p = 0.001$) and circumflex artery (1.29 [0.69; 1.47] vs. 1.71 [1.1; 1.91], $p = 0.013$) in the PCI group.

Conclusion. Patients with previous PCI demonstrated a decrease in both MBF and CFR, indicating the development of coronary microvascular dysfunction, which is most pronounced in the left coronary artery territory. These abnormalities may impact the long-term outcomes of coronary artery bypass grafting.

Keywords:	percutaneous coronary interventions; coronary flow reserve; single-photon emission computed tomography; microvascular dysfunction; coronary artery bypass grafting.
Funding:	none of the authors have a financial interest in the presented material and methods.
Compliance with ethical standards:	informed consent was obtained from each patient. The study was approved by the Ethics Committee of the Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC (Protocol No. 188 dated September 18, 2019).
For citation:	Zatolokin V.V., Alisherov Yu.U., Panfilov D.S., Mochula A.V., Zavadovsky K.V., Kozlov B.N. Myocardial blood flow in patients after percutaneous coronary interventions before coronary artery bypass grafting compared to patients without endovascular interventions. <i>Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine</i> . 2026;41(1):161–171. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2026-41-1-161-171

Введение

В настоящее время профиль пациентов с многососудистым поражением коронарных артерий, поступающих на операцию коронарного шунтирования (КШ), значительно изменился. Характерной чертой современного контингента пациентов является увеличение как среднего возраста, так и количества предшествующих чрескожных коронарных вмешательств (ЧКВ). Количество ЧКВ постоянно увеличивается, особенно у пациентов с многососудистым поражением коронарных артерий, включая слу-

чай со сложной анатомией и высоким индексом Syntax score до первичной эндоваскулярной процедуры. Поэтому в настоящее время количество пациентов, направленных на хирургическую реваскуляризацию миокарда и имеющих в анамнезе множественные предшествующими чрескожные вмешательства, достигает 20% и даже 40% от общей популяции, согласно данным различных источников литературы [1–4].

В ряде клинических исследований и ретроспективных метаанализов изучались исходы, соотношения рисков и

пользы двух общепринятых подходов реваскуляризации миокарда, а именно ЧКВ и КШ [3, 4]. Известно, что ЧКВ не остаются бесследными манипуляциями для пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС), впрочем, как и КШ. Такие явления, как микроповреждение и воспалительная реакция в сосудистой стенке, гиперплазия интимы как в месте имплантации стентов, так и за пределами манипуляций способны инициировать диффузное поражение коронарных артерий и вазомоторные коронарные дисфункции [1–4]. Все эти факторы оказывают непосредственное воздействие на результаты операции КШ, которая может потребоваться после предшествующих ЧКВ. Такие нежелательные эффекты стентирования, как материальная эмболическая микрообструкция и окклюзия боковых ветвей, ставящие под угрозу коллатеральный кровоток и редуцирующие дистальное коронарное русло, могут быть причиной низких объемных кровотоков по коронарным шунтам, что в конечном итоге может привести к их дисфункции уже в раннем послеоперационном периоде [3, 4].

На сегодняшний день методом выбора для оценки микроциркуляторного русла и вазомоторной функции коронарных артерий является изучение резерва миокардиального кровотока (РМК; MFR – myocardial flow reserve) методом позитронной эмиссионной томографии, позволяющим определить абсолютную величину РМК, а также оценить резерв кровотока. Высокая информативность метода показана в ряде крупных исследований [5]. Альтернативным методом оценки коронарной микроциркуляции также является динамическая однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) миокарда [6].

Цель работы: сравнительная оценка МК по данным ОФЭКТ на предоперационном этапе КШ у пациентов с многососудистым поражением в зависимости от наличия или отсутствия ЧКВ в анамнезе.

Материал и методы

Проведено одноцентровое проспективное исследование, в которое были включены 118 пациентов с ИБС, которым была рекомендована операция КШ. В данное исследование вошли пациенты обоего пола, госпитализированные в плановом порядке с 2020 по 2023 гг. У всех пациентов по данным инвазивной коронароангиографии было диагностировано многососудистое поражение коронарных артерий. К критериям включения относили возраст до 70 лет; стабильное течение ИБС; наличие сужения > 50% в трех эпикардиальных коронарных сосудах. Критериями исключения явились ранее проведенное КШ; наличие тяжелых форм нарушения ритма сердца, клапанные пороки; тяжелая сопутствующая патология; отказ пациента от участия в исследовании.

Все операции КШ выполнялись с использованием маммарокоронарного шунтирования передней нисходящей

артерии (МКШ-ПНА) и аортокоронарного шунтирования остальных бассейнов коронарного русла с использованием большой подкожной вены. Операции выполнялись в условиях искусственного кровообращения и холодной кардиopleгии раствором «Кустодиол». Показаниями для вмешательства на коронарных артериях был гемодинамически значимый коронарный атеросклероз, диагностированный на основании коронароангиографии.

В настоящем исследовании динамическая ОФЭКТ была проведена 118 пациентам за 2 сут до оперативного лечения. Первую группу составили 60 пациентов с многососудистым поражением коронарных артерий, перенесших в анамнезе множественные ЧКВ (группа PCI (англ. percutaneous coronary intervention) – чрескожные коронарные вмешательства). Группу контрольного наблюдения (группа No PCI) составили 58 пациентов с многососудистым поражением коронарных артерий без эндоваскулярных вмешательств в анамнезе.

У пациентов в группе PCI стентированию подверглось 112 коронарных артерий, что составило 64,4% от общего количества всех коронарных артерий (n = 174) у этих пациентов. Из всех стентированных коронарных артерий в 37 (33%) случаях оказалась ПНА, в 41 (36,6%) – ветвь тупого края, а в 34 (30,3%) – правая коронарная артерия (ПКА). В группе пациентов No PCI стентирована 161 коронарная артерия без чрескожных вмешательств, в том числе ПНА – в 58 (36%), ветвь тупого края огибающей артерии (ВТК) – в 56 (34,8%), ПКА – в 47 (29,2%) случаях. Было исследовано 273 целевых коронарных артерий с проксимальным гемодинамически значимым атеросклеротическим поражением (более 50%) (табл. 1).

Динамическая ОФЭКТ миокарда выполнялась по двухдневному протоколу в состоянии функционального покоя и на фоне фармакологического стресс-теста. Позиционирование области сердца пациента относительно центра поля зрения гамма-камеры осуществлялось на основании индивидуальных топографо-анатомических данных. На первом этапе проводилась запись прохождения болюса радиофармпрепарата (99mTc-Технетрил) по камерам и миокарду левого желудочка (ЛЖ) в состоянии функционального покоя. Второй этап динамической ОФЭКТ миокарда проходил на следующий день и заключался в записи прохождения болюса радиофармпрепарата по камерам сердца и миокарду ЛЖ на фоне фармакологического теста. Всем пациентам была выполнена фармакологическая проба с аденозинтрифосфатом (АТФ), который вводился внутривенно в дозе 160 мкг/кг/мин в течение 4 мин [6]. Результаты оценки миокардиальной перфузии обработаны в специализированной программе Corridor 4DM (University of Michigan, Ann Arbor, MI, USA) с использованием срезов по короткой и длинной осям сердца, а также 17-сегментарной полярной карты ЛЖ [6].

Таблица 1. Распределение коронарных артерий по группам в зависимости от наличия или отсутствия у пациентов чрескожных коронарных вмешательств в анамнезе

Table 1. Distribution of coronary arteries by groups according to the presence or absence of percutaneous coronary interventions

Коронарные артерии	PCI, n = 112	No PCI, n = 161	Всего
ПНА, n (%)	37 (33)	58 (36)	95 (34,8)
ОА, n (%)	41 (36,6)	56 (34,8)	97 (35,5)
ПКА, n (%)	34 (30,4)	47 (29,2)	81 (29,7)
Все бассейны коронарного русла, n (%)	112 (100)	161 (100)	273 (100)

Примечание: ПНА – передняя нисходящая артерия; ДА – диагональная артерия; ВТК – ветвь тупого края; ПКА – правая коронарная артерия.

Статистическая обработка полученных результатов выполнена в пакете SPSS 11.0. Для проверки нормальности распределения количественных показателей применялся критерий Шапиро – Уилка. При статистическом описании количественных показателей использовались среднее значение (M) и стандартное отклонение (SD), $M \pm SD$ или медиана (Me) и межквартильный промежуток [$Q1$; $Q3$]. Категориальные данные описывались абсолютными и относительными частотами, n (%). Статистическая значимость различий количественных признаков в двух независимых группах оценивалась с помощью критериев Стьюдента или Манна – Уитни в зависимости от распределения.

Результаты

Предоперационная характеристика пациентов представлена в таблице 2. В группы вошли пациенты в основном мужского пола в возрасте старше 60 лет. По этим параметрам, а также по показателям площади поверхности тела, индекса массы тела группы не имели статистически значимых различий.

Согласно данным, представленным в таблице 3, не было выявлено достоверно значимых различий по анализируемым показателям у пациентов обеих групп. Наиболее часто встречаемыми сопутствующими / фоновыми патологиями были гипертоническая болезнь (83,6%) и дислипидемия (85,2%). Курение в анамнезе отмечено у

54 (42,6%) пациентов, 26 (21,3%) человек продолжили курить до настоящего времени. У 18 (14,8%) были выявлено атеросклеротическое поражение артерий брахиоцефального бассейна, у 22 (18%) – периферических магистральных артерий. У всех пациентов было отмечено значимое трехсосудистое стенозирующее поражение коронарных артерий более 75%. Оклюзии коронарных артерий в обеих группах отсутствовали.

У пациентов обеих групп в первую очередь было проведено сравнение глобального МК по данным динамической ОФЭКТ, а затем выполнен селективный сравнительный анализ каждого бассейна коронарных артерий по отдельности в обеих группах. По результатам динамической ОФЭКТ глобальная средняя скорость МК в покое достоверно не различалась для всех стентированных артерий в группах No PCI и PCI: 0,6 (0,37; 1,1) и 0,62 (0,31; 1,2) мл/мин/г соответственно ($p = 0,263$) (табл. 4, рис. 1).

При сравнительном анализе коронарного кровотока при стресс-нагрузке в группе No PCI медиана скорости кровотока в группе PCI оказалась достоверно меньше, чем в группе No PCI: 0,79(0,38; 1,2) против 1,01 (0,55; 1,6) мл/мин/г соответственно ($p = 0,001$). А при сравнительном анализе РМК было выявлено, что медиана значения РМК меньше в группе PCI, чем в группе No PCI: (1,4 (0,89; 1,8) против 1,73 (1,35; 2,4), $p = 0,003$) (см. табл. 4, рис. 1).

Далее была проведена сравнительная оценка кровотока селективно в бассейне ПНА в группе после чре-

Таблица 2. Предоперационная характеристика пациентов

Table 2. Preoperative characteristics of patients

Показатель	PCI, n = 60	No PCI, n = 58	p-value
Возраст, лет	65 [62; 69]	64,5 [54; 70]	0,277
Мужской пол, n (%)	48 (80)	46 (74,2)	0,584
Вес, кг	82,5 ± 10,3	83,8 ± 11,2	0,519
ППТ, м ²	1,9 ± 0,15	1,9 ± 0,2	0,779
ИМТ, кг/см ²	31 [27; 32]	29 [27; 32]	0,157

Примечание: ППТ – площадь поверхности тела, ИМТ – индекс массы тела.

Таблица 3. Предоперационный клинический статус пациентов

Table 3. Preoperative clinical status of patients

Показатель	PCI, n = 60	No PCI, n = 58	p-value	
Гипертоническая болезнь, n (%)	48 (80)	54 (87,1)	0,416	
Дислипидемия, n (%)	48 (80)	56 (90,3)	0,176	
Сахарный диабет, n (%)	14 (23,3)	18 (29)	0,610	
Наследственная ИБС, n (%)	18 (30)	20 (32,3)	0,941	
ПИКС, n (%)	18 (30)	20 (32,3)	0,941	
ЦВБ, n (%)	8 (13,3)	10 (16,1)	0,857	
Периферический атеросклероз, n (%)	12 (20)	10 (16,1)	0,749	
Инсульт в анамнезе, n (%)	6 (10)	6 (9,7)	0,807	
Текущий курильщик, n (%)	16 (26,7)	10 (16,1)	0,230	
Курение в анамнезе, n (%)	26 (43,3)	26 (41,9)	0,978	
ХОБЛ, n (%)	12 (20)	12 (19,4)	0,890	
Количество пораженных коронарных артерий, n (%)	3 (3; 3)	3 (3; 3)	0,367	
Фракция выброса ЛЖ, %	62,5 ± 5,9	60,6 ± 6	0,083	
NYHA, класс	I	4 (6,7)	12 (19,4)	0,001
	II	42 (70)	48 (77,4)	
	III	14 (23,3)	2 (3,2)	
	IV	0	0	

Примечание: ИБС – ишемическая болезнь сердца, ПИКС – постинфарктный кардиосклероз, ЦВБ – цереброваскулярная болезнь, ХОБЛ – хроническая обструктивная болезнь легких, ЛЖ – левый желудочек, NYHA – классификация сердечной недостаточности New York Heart Association.

Таблица 4. Характеристика глобального миокардиального кровотока по данным динамической однофотонной эмиссионной компьютерной томографии**Table 4.** Characteristics of global myocardial blood flow according to dynamic of single-photon emission computed tomography data

Показатель	PCI, n = 112	No PCI, n = 161	p-value
Глобальный МК в покое, мл/мин/г	0,6 (0,37; 1,1)	0,62 (0,31; 1,2)	0,263
Глобальный МК в нагрузке, мл/мин/г	0,79 (0,38; 1,2)	1,01 (0,55; 1,6)	0,001
Глобальный РМК, ед.	1,4 (0,89; 1,8)	1,73 (1,35; 2,4)	0,003

Примечание: МК – миокардиальный кровоток, РМК – резерв миокардиального кровотока.

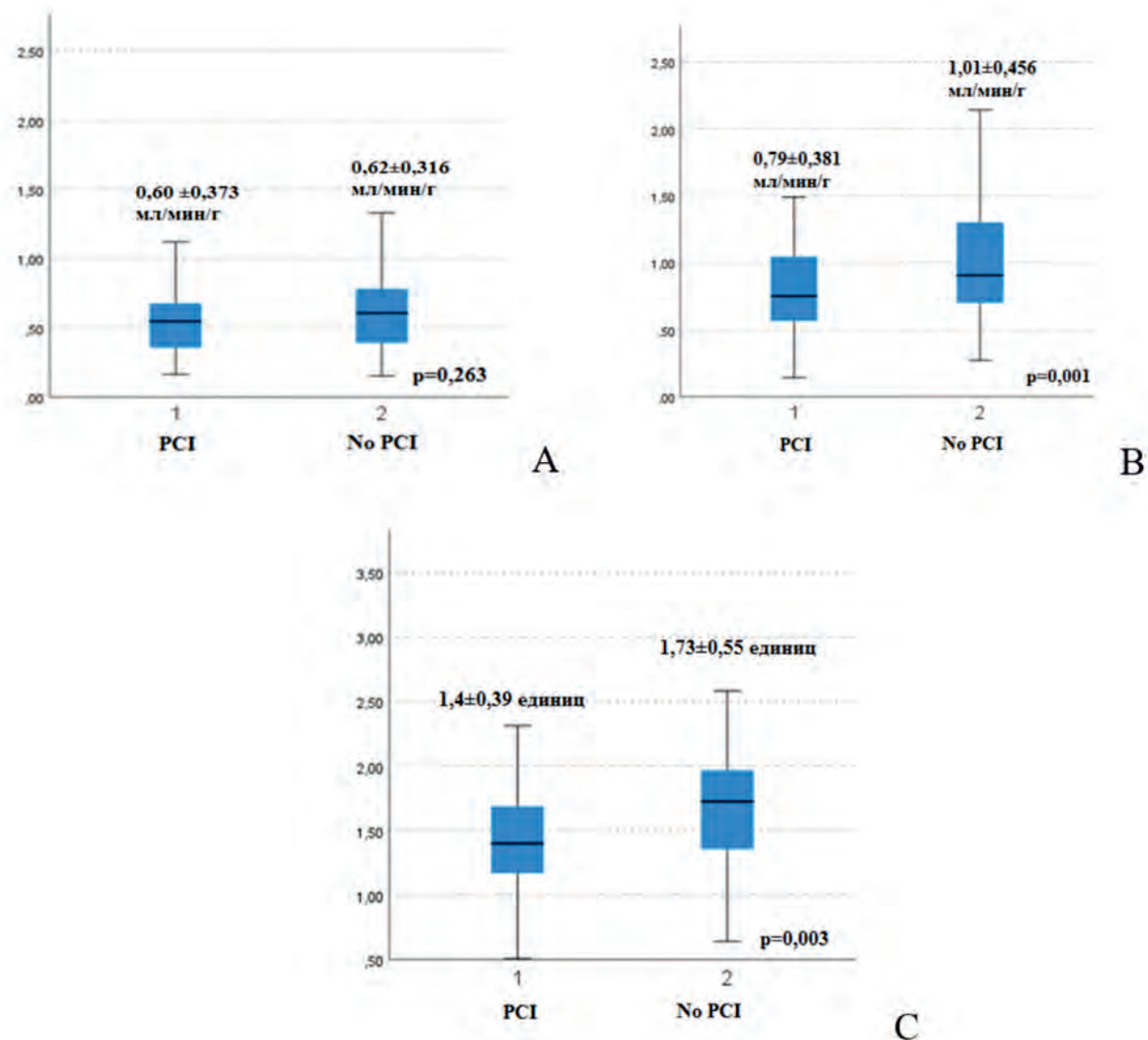


Рис. 1. Характеристики глобального миокардиального кровотока по данным динамической однофотонной эмиссионной компьютерной томографии. А – глобальная средняя скорость миокардиального кровотока в покое; В – глобальная средняя скорость миокардиального кровотока в нагрузке; С – глобальный резерв миокардиального кровотока

Fig. 1. Characteristics of global myocardial blood flow according to dynamic of single-photon emission computed tomography data. A - global average myocardial blood flow velocity at rest; B - global average myocardial blood flow velocity under load; C - global coronary flow reserve

скожных вмешательств ($n = 37$) и в группе пациентов, свободных от эндоваскулярных процедур ($n = 58$). В результате анализа в покое достоверно значимых отличий в кровотоке выявлено не было, в группе после ЧКВ кровоток составил 0,55 (0,29; 0,77) мл/мин/г, а в группе без эндоваскулярных вмешательств – 0,63 (0,24; 0,83) мл/мин/г соответственно ($p = 0,181$) (табл. 5, рис. 2).

Однако при сравнительном анализе коронарного кровотока при стресс-нагрузке была отмечена меньшая медиана скорости кровотока в группе PCI по сравнению со

скоростью в группе No PCI – 0,70 (0,58; 0,95) и 1,05 (0,76; 1,4) мл/мин/г соответственно ($p = 0,001$). В итоге сравнительный анализ РМК в ПНА показал меньшую медиану РМК в группе PCI по сравнению с группой No PCI (1,39 (0,81; 1,57) и 1,75 (1,38; 1,88), $p = 0,001$) (см. рис. 2, табл. 5).

С учетом данных динамической ОФЭКТ была проведена сравнительная оценка кровотока в бассейне огибающей артерии (ОА) в группе PCI ($n = 41$) и в группе No PCI ($n = 56$). В результате анализа не было выявлено

Таблица 5. Характеристика глобального миокардиального кровотока в бассейне передней нисходящей артерии по данным динамической однофотонной эмиссионной компьютерной томографии

Table 5. Characteristics of myocardial blood flow in the anterior descending artery basin according to dynamic of single-photon emission computed tomography data

Показатель	PCI, n = 37	No PCI, n = 58	p-value
Скорость МК в покое, мл/мин/г	0,55 (0,29; 0,77)	0,63 (0,24; 0,83)	0,181
Скорость МК в нагрузке, мл/мин/г	0,70 (0,58; 0,95)	1,05 (0,76; 1,4)	0,001
РМК, ед.	1,39 (0,81; 1,57)	1,75 (1,38; 1,88)	0,001

Примечание: ПНА – передняя нисходящая артерия; МК – миокардиальный кровоток, РМК – резерв миокардиального кровотока.

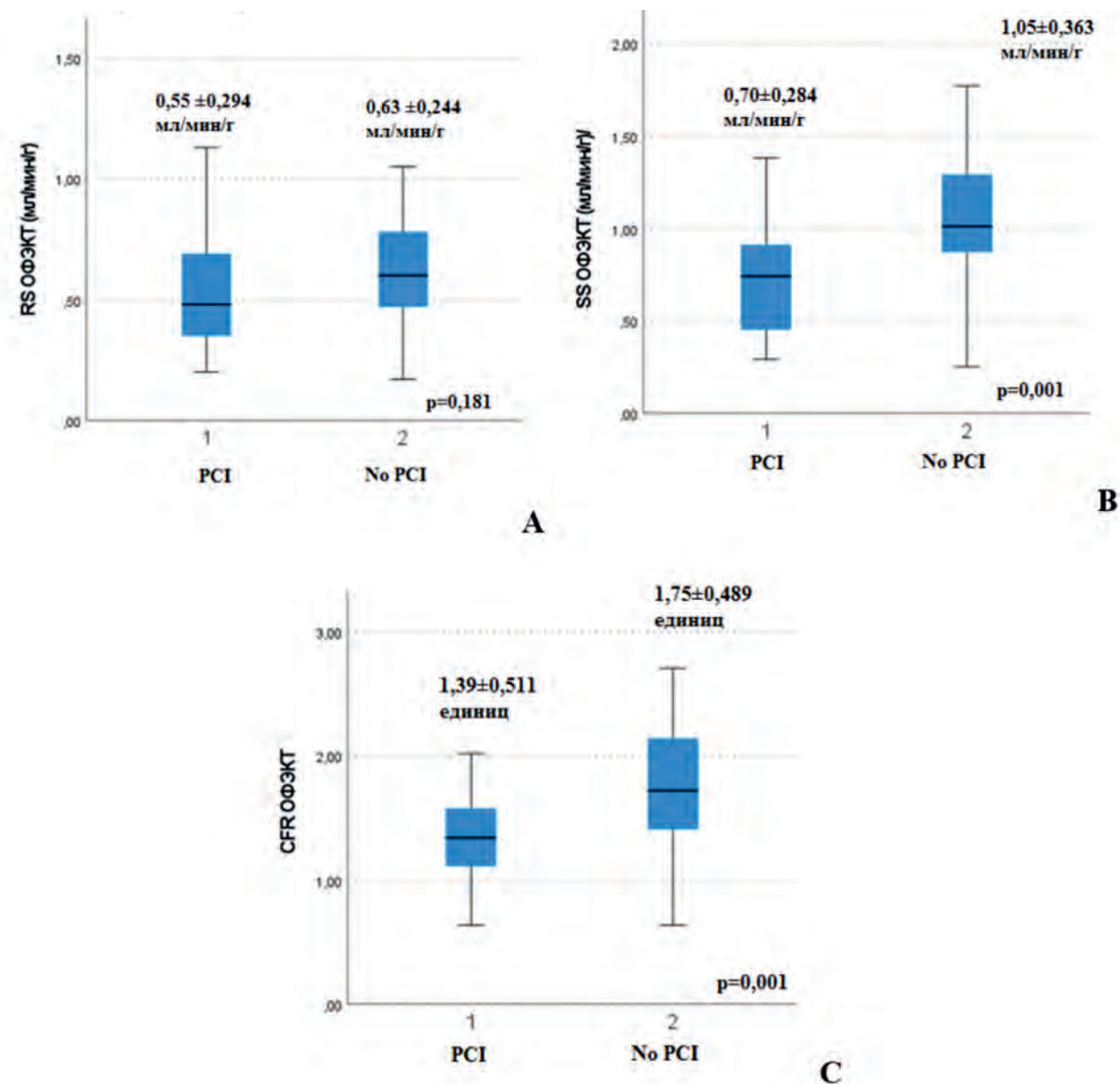


Рис. 2. Характеристика глобального миокардиального кровотока в бассейне передней нисходящей артерии по данным динамической однофотонной эмиссионной компьютерной томографии по группам. А – средняя скорость миокардиального кровотока в покое в бассейне передней нисходящей артерии; В – средняя скорость миокардиального кровотока в нагрузке в бассейне передней нисходящей артерии; С – резерв миокардиального кровотока в бассейне передней нисходящей артерии

Fig. 2. Characteristics of myocardial blood flow in the anterior descending artery basin according to dynamic of single-photon emission computed tomography data. А – average global average myocardial blood flow velocity at rest velocity at rest in the anterior descending artery basin; В – average global average myocardial blood flow velocity at rest velocity under load in the anterior descending artery basin; С – coronary flow reserve in the anterior descending artery

статистически значимых различий по скорости кровотока в покое в группе после ЧКВ по сравнению с группой контроля – 0,66 (0,37; 1,13) и 0,61 (0,32; 1,21) мл/мин/г соответственно ($p = 0,422$) (табл. 6, рис. 3).

При сравнительном анализе коронарного кровотока

при стресс-нагрузке в обеих сравниваемых группах было отмечено, что в группе PCI кровоток оказался меньше, однако статистической значимости эта разница не достигла – 0,8 (0,4; 1,11) и 1,01 (0,51; 1,37) мл/мин/г соответственно ($p = 0,065$).

Таблица 6. Характеристика глобального миокардиального кровотока в бассейне огибающей артерии по данным динамической однофотонной эмиссионной компьютерной томографии**Table 6.** Characteristics of myocardial blood flow in the circumflex artery basin according to dynamic of single-photon emission computed tomography data

Показатель	PCI, n = 41	No PCI, n = 56	p-value
Скорость МК в покое, мл/мин/г	0,66 (0,37; 1,13)	0,61 (0,32; 1,21)	0,422
Скорость МК в нагрузке, мл/мин/г	0,8 (0,4; 1,11)	1,01 (0,51; 1,37)	0,065
PMK, ед.	1,29 (0,69; 1,47)	1,71 (1,1; 1,91)	0,013

Примечание: ОА – огибающая артерия; МК – миокардиальный кровоток, PMK – резерв миокардиального кровотока.

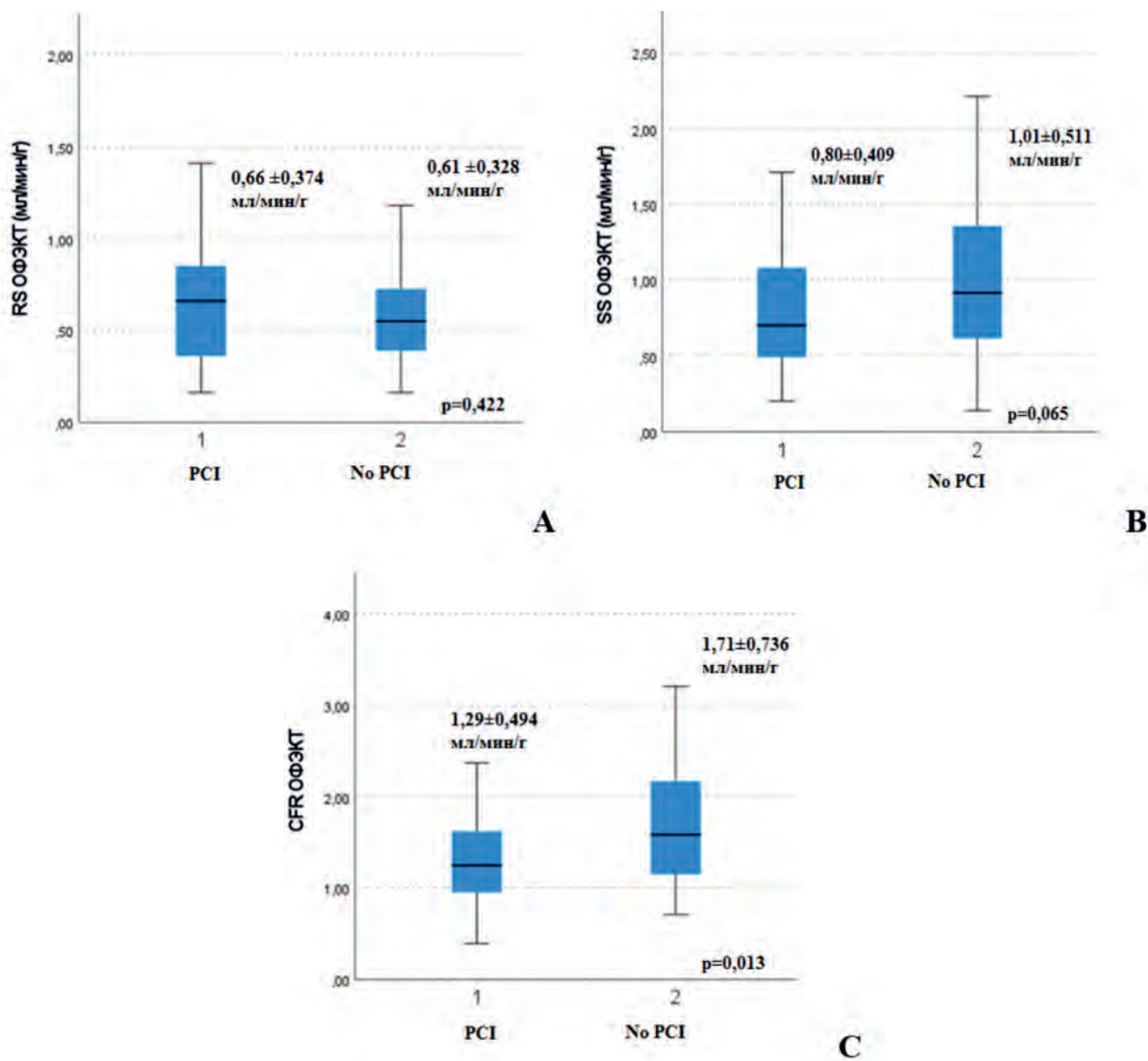


Рис. 3. Характеристика глобального миокардиального кровотока в бассейне огибающей артерии по данным динамической однофотонной эмиссионной компьютерной томографии по группам. А – средняя скорость миокардиального кровотока в бассейне огибающей артерии; В – средняя скорость миокардиального кровотока в нагрузке в бассейне огибающей артерии; С – резерв миокардиального кровотока в бассейне огибающей артерии
 Fig. 3. Characteristics of myocardial blood flow in the circumflex artery basin according to dynamic of single-photon emission computed tomography data. A – average global average myocardial blood flow velocity at rest velocity in the circumflex artery basin; B – average global average myocardial blood flow velocity at rest velocity under load in the circumflex artery basin; C – coronary flow reserve in the circumflex artery basin

При сравнительном анализе PMK в бассейне ОА была достигнута статистическая разница. В группе PCI медиана PMK оказалась меньше по сравнению с группой контроля (1,29 (0,69; 1,47) и 1,71 (1,1; 1,91), $p = 0,013$) (см. табл. 6, рис. 3).

По данным динамической ОФЭКТ была проведена

сравнительная оценка кровотока в бассейне ПКА в группе после ЧКВ ($n = 32$) и в группе пациентов, свободных от эндоваскулярных процедур ($n = 50$). В результате анализа не было выявлено достоверных различий в скоростях коронарного кровотока в покое в группе пациентов после ЧКВ в сравнении с группой контроля – 0,57 (0,38; 0,71)

Таблица 7. Характеристика глобального миокардиального кровотока в бассейне правой коронарной артерии по данным динамической однофотонной эмиссионной компьютерной томографии

Table 7. Characteristics of myocardial blood flow in the right coronary artery basin according to dynamic of single-photon emission computed tomography data

Показатель	PCI, n = 34	No PCI, n = 47	p-value
Скорость МК в покое, мл/мин/г	0,57 (0,38; 0,71)	0,62 (0,57; 0,93)	0,386
Скорость МК в нагрузке, мл/мин/г	0,74 (0,55; 0,99)	0,87 (0,64; 1,03)	0,275
РМК, ед.	1,41 (0,98; 1,78)	1,53 (1,19; 1,79)	0,389

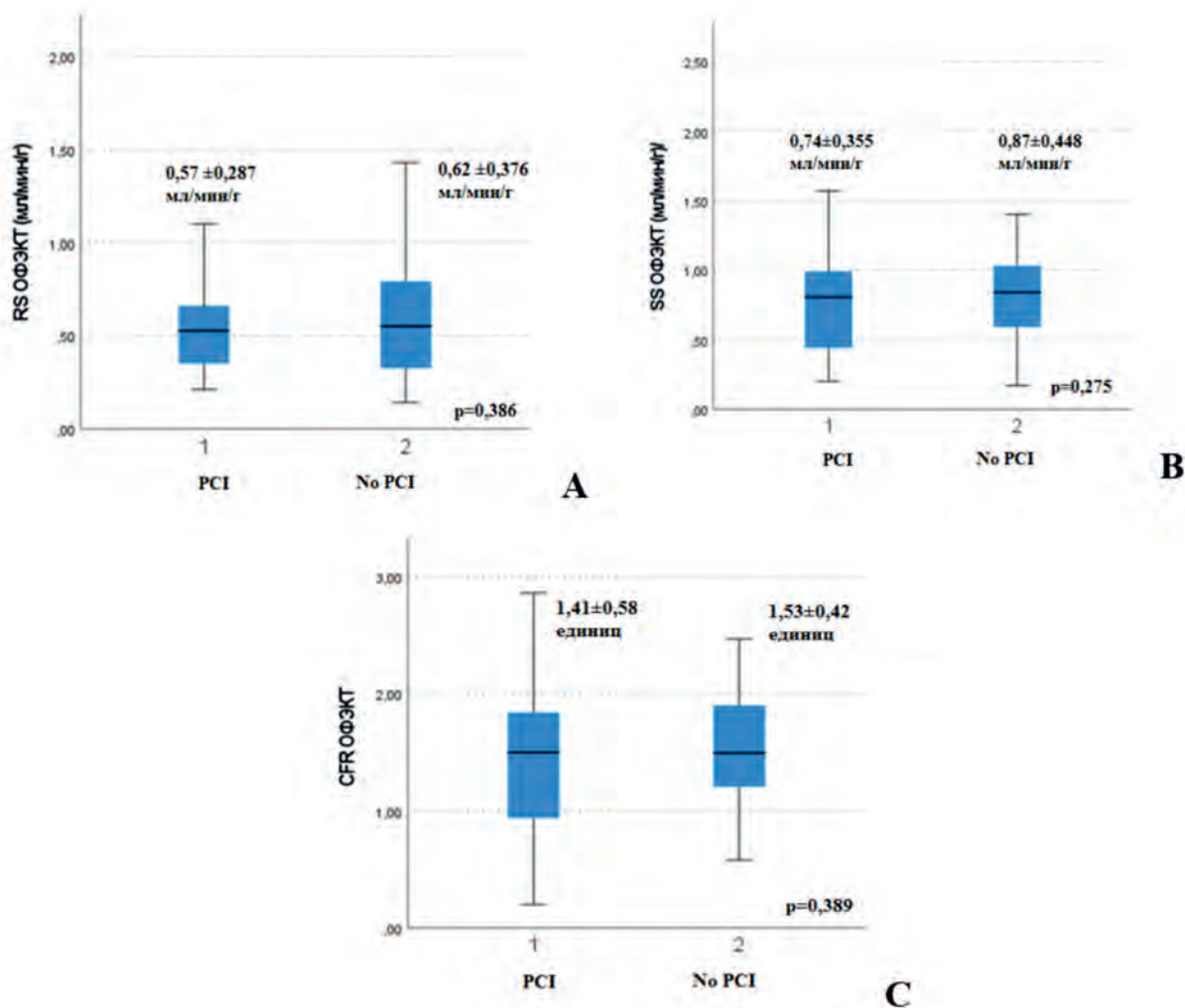


Рис. 4. Характеристика глобального миокардиального кровотока в бассейне правой коронарной артерии по данным динамической однофотонной эмиссионной компьютерной томографии по группам. А – средняя скорость миокардиального кровотока в покое в бассейне правой коронарной артерии; В – средняя скорость миокардиального кровотока в нагрузке (АТФ) в бассейне правой коронарной артерии; С – резерв миокардиального кровотока в бассейне правой коронарной артерии

Fig. 4. Characteristics of myocardial blood flow in the right coronary artery basin according to dynamic of single-photon emission computed tomography data. А – average global average myocardial blood flow velocity at rest velocity at rest in the right coronary artery basin; В – average global average myocardial blood flow velocity at rest velocity under load (ATP) in the right coronary artery basin; С – myocardial blood flow reserve in the right coronary artery basin

и 0,62 (0,57; 0,93) мл/мин/г соответственно ($p = 0,386$) (табл. 7, рис. 4).

При сравнительном анализе МК при стресс-нагрузке не было отмечено достоверных различий в анализируемых группах – 0,74 (0,55; 0,99) и 0,87 (0,64; 1,03) мл/мин/г соответственно ($p = 0,275$). Наряду с этим сравнительный анализ РМК также не показал различий в бассейне ПКА (1,41 (0,98; 1,78) и 1,53 (1,19; 1,79), $p = 0,389$) (см. рис. 4, табл. 7).

В результате проведенного анализа оценки кровотока

по данным динамической ОФЭКТ при многососудистом поражении коронарных артерий было выявлено, что скорость кровотока во время проведения стресс-нагрузки и РМК в группе пациентов, коронарные артерии которых подверглись эндоваскулярному вмешательству, оказались достоверно ниже в сравнении показателями в группе без чрескожных манипуляций.

При дальнейшей оценке ОФЭКТ селективно по каждому бассейну коронарных артерий скорость кровотока при стресс-нагрузке в бассейне ПНА в группе коро-

нарных артерий после эндоваскулярных вмешательств оказалась достоверно ниже в сравнении с коронарными артериями из группы контроля. Также РМК оказался достоверно ниже в бассейне ПНА и ОА у пациентов после ЧКВ. Данные результаты указывают на более высокий риск развития микроциркуляторных дисфункций только в системе левой коронарной артерии на фоне различных эндоваскулярных вмешательств у пациентов с многососудистым поражением коронарных артерий.

Обсуждение

Согласно современным представлениям, распространенный атеросклеротический процесс, затрагивающий несколько сосудистых регионов, считается основной причиной патогенеза ИБС. Но стоит отметить, что длительность этого патологического процесса обуславливает также вовлечение различных механизмов, включающих не только атеросклероз эпикардиальных сосудов, но и сосудистое ремоделирование на микроциркуляторном уровне и воспалительные реакции ткани в ответ на различные внутренние и внешние воздействия [7]. В настоящее время, согласно наиболее признанной гипотезе о патогенезе микроциркуляторных изменений, такие сопутствующие заболевания, как метаболический синдром, ожирение, артериальная гипертензия, сахарный диабет, хроническая болезнь почек, а также различные чрескожные манипуляции в коронарных артериях, могут инициировать системную воспалительную реакцию, которая способствует развитию оксидативного стресса в эндотелиальных клетках, ухудшению их функции и снижению биодоступности оксида азота за счет непосредственного воздействия либо гиперэкспрессии эндотелина-1 [7, 8].

В настоящей работе мы провели комплексную оценку кровотока во всех коронарных бассейнах у пациентов с многососудистым поражением коронарных артерий после эндоваскулярных вмешательств в сравнении с пациентами без ЧКВ манипуляций в анамнезе.

В результате исследования при оценке глобального МК по данным ОФЭКТ отмечается значительно меньшая скорость кровотока во время проведения стресс-нагрузки и значительно низкий РМК в группе PCI (ЧКВ вмешательство в анамнезе) в сравнении с группой без чрескожных коронарных манипуляций. При селективной оценке кровотока в бассейне ПНА была отмечена значимо низкая скорость кровотока в исследуемой группе при стресс-нагрузке по сравнению с группой контроля. Также в бассейне ПНА отмечен значимо низкий показатель РМК в группе коронарных артерий после эндоваскулярных вмешательств в сравнении с интактными коронарными артериями. И в бассейне ОА по данным ОФЭКТ, несмотря на отсутствие достоверной разницы, отмечается снижение РМК в группе пациентов после ЧКВ коронарных артерий в анамнезе. Данные результаты указывают на более высокий риск развития микроциркуляторных дисфункций в системе левой коронарной артерии на фоне различных эндоваскулярных вмешательств у пациентов с многососудистым поражением коронарных артерий, что может оказывать непосредственное влияние на результаты операции КШ.

Известно, что нарушение МК на уровне микроциркуляции в сочетании со структурными изменениями тка-

ни миокарда может выступать в качестве комплексного независимого предиктора развития неблагоприятных сердечно-сосудистых событий у пациентов с многососудистой формой атеросклеротического поражения коронарных артерий после проведения прямой реваскуляризации миокарда [7]. Несмотря на то, что в текущей практике применение самых современных стентов с лекарственным покрытием во время ЧКВ привело к сокращению случаев рестенозов, случаи повторных реваскуляризацій все равно остаются на высоком уровне после различных множественных чрескожных манипуляций¹. В результатах исследования SYNTAX сообщается, что количество случаев повторных реваскуляризацій после ЧКВ может достигать 25,9% в течение 5-летнего периода наблюдения [9]. А недавний анализ продемонстрировал, что около 12% пациентов, перенесших ЧКВ, потребовалась повторная реваскуляризация в течение первого года наблюдения за ними [10]. Вместе с этим в современной литературе сообщается, что наличие предыдущего ЧКВ оказывает значительное неблагоприятное воздействие на госпитальную смертность после операции КШ [11]. Было продемонстрировано, что по мере увеличения доли пациентов с историей множественных ЧКВ неблагоприятное воздействие предыдущего ЧКВ на операционную смертность становится каждый раз все более серьезным [10, 11]. Считается, что несколько факторов у пациентов с предыдущим ЧКВ вызывают худший исход после последующего КШ. Прежде всего, доказано, что интракоронарные стенты могут стимулировать острые и хронические воспалительные изменения в дистальной части коронарной артерии и окружающем миокарде, что может снизить проходимость шунта [12]. Структурные причины, такие как рестеноз внутри стента или прогрессирование коронарного атеросклероза в других сегментах, объясняют рецидив симптомов после успешного ЧКВ у некоторых пациентов, в то время как функциональные причины, такие как вазомоторные нарушения эпикардиальных коронарных артерий и / или коронарная микрососудистая дисфункция, объясняют симптомы у остальных пациентов [13, 14].

Широкое распространение ЧКВ с применением различных методов стентирования коронарных артерий в лечении различных форм ИБС привело к прогрессирующему увеличению количества рестенозов, что является в настоящий момент одной из самых обременительных проблем интервенционной кардиологии [13, 15]. Использование стентов с лекарственным покрытием (DES-drug-eluting stent) во время ЧКВ при ИБС в настоящее время увеличивается в текущей практике лечения заболевания. Хотя использование DES привело к некоторому снижению количества рестенозов стентов, повторная реваскуляризация остается распространенной проблемой после ЧКВ [15, 16]. Таким образом, количество пациентов с предшествующими ЧКВ, перенесших последующее КШ, со временем увеличивается.

В нескольких исследованиях сообщается о значительном повышении послеоперационной смертности у пациентов с предыдущими процедурами ЧКВ, перенесших последующее КШ [15, 16]. Микроциркуляторные нарушения является распространенным явлением у пациентов, прошедших лечение с помощью ЧКВ, и эндотелиальная

¹ Sousa-Uva M., Neumann F.J., Ahlsson A. et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization. *Eur. J. Cardiothorac. Surg.* 2019;55:4–90. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy394>

дисфункция в этом сценарии может привести к неспособности коронарного микрососудистого русла уравновесить повышенное остаточное эпикардальное сопротивление, что приводит к снижению РМК и последующей индуцируемой ишемии [17]. Более того, коронарное стентирование само по себе механически повреждает эндотелий в сегменте воздействия, что вызывает дисфункцию микрососудов дистального русла [17]. Такое явление может сохраняться в течение недель, а то и лет после ЧКВ и может быть связано со стенокардией покоя или напряжения. Это явление в современной литературе называется «ятрогенной коронарной микрососудистой дисфункцией» (“iatrogenic coronary microvascular dysfunction”) после стентирования [18], которая оказывает непосредственное влияние на результаты хирургической реваскуляри-

зации миокарда. Следует отметить, что артериальная реваскуляризация миокарда с широким использованием внутренних грудных артерий может помочь нивелировать существующую эндотелиальную дисфункцию у пациентов с более высоким риском будущих сердечно-сосудистых событий [9].

Заключение

У пациентов с предшествующими ЧКВ отмечается снижение как МК, так и РМК, что свидетельствует о развитии коронарной микрососудистой дисфункции, которая наиболее выражена в бассейне левой коронарной артерии. Выявленные нарушения могут оказывать влияние на отдаленные результаты КШ.

Литература / References

1. Fukui T., Tanaka S., Takanashi S. Previous coronary stents do not increase early and long-term adverse outcomes in patients undergoing off-pump coronary artery bypass grafting: a propensity-matched comparison. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2014;148(5):1843–1849. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2014.02.004>
2. Ueki C., Sakaguchi G., Akimoto T., Shintani T., Ohashi Y., Sato H. et al. Influence of previous percutaneous coronary intervention on clinical outcome of coronary artery bypass grafting: a meta-analysis of comparative studies. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2015;20:531–537. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivv449>
3. Lisboa L.A., Mejia O.A., Dallan L.A., Moreira L.F., Puig L.B., Jatene F.B. et al. Previous percutaneous coronary intervention as risk factor for coronary artery bypass grafting. *Arq. Bras. Cardiol.* 2012;99:586–595. <https://doi.org/10.1590/s0066-782x2012005000057>
4. Бочаров А.В. Отдаленные результаты аорто-коронарного шунтирования после стентирования клинко-зависимой артерии голометаллическими стентами у больных с острым коронарным синдромом и многососудистым поражением. *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова.* 2019;4:495–502. <https://doi.org/10.23888/PAVLOVJ2019274495-502>
Bocharov A.V. Remote results of coronary artery bypass grafting after stenting of a clinically relevant artery with bare-metal stents in patients with acute coronary syndrome and multivessel disease. *Pavlov Russian Medical and Biological Bulletin.* 2019;27(4):495–502. <https://doi.org/10.23888/PAVLOVJ2019274495-502>
5. Tonet E., Pompei G., Faragasso E., Cossu A., Pavasini R., Passarini G. et al. Coronary Microvascular Dysfunction: PET, CMR and CT Assessment. *J. Clin. Med.* 2021;10(9):1848. <https://doi.org/10.3390/jcm10091848>
6. Zavadovsky K.V., Mochula A.V., Boshchenko A.A., Vrublevsky A.V., Baev A.E., Krylov A.L. et al. Absolute myocardial blood flows derived by dynamic CZT scan vs invasive fractional flow reserve: Correlation and accuracy. *J. Nucl. Cardiol.* 2021;28(1):249–259. <https://doi.org/10.1007/s12350-019-01678-z>
7. Del Buono M.G., Montone R.A., Camilli M., Carbone S., Narula J., Lavie C.J. Coronary microvascular dysfunction across the spectrum of cardiovascular diseases: JACC State-of-the-Art Review. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2021;78(13):1352–1371. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.07.042>
8. Canu M., Khouri C., Marliere S., Vautrin E., Piliro N., Ormezzano O. et al. Prognostic significance of severe coronary microvascular dysfunction post-PCI in patients with STEMI: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2022;17(5):e0268330. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268330>
9. Mohr F.W., Morice M.C., Kappetein A.P., Feldman T.E., Stähle E., Colombo A. et al. Coronary artery bypass graft surgery versus percutaneous coronary intervention in patients with three-vessel disease and left main coronary disease: 5-year follow-up of the randomised, clinical SYNTAX trial. *Lancet.* 2013;381:629–638. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)60141-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)60141-5)
10. Stolker J.M., Cohen D.J., Kennedy K.F., Pencina M.J., Lindsey J.B., Mauri L. et al. Repeat revascularization after contemporary percutaneous coronary intervention: an evaluation of staged, target lesion, and other unplanned revascularization procedures during the first year. *Circ. Cardiovasc. Interv.* 2012;5:772–782. <https://doi.org/10.1161/circinterventions.111.967802>
11. Ueki C., Sakaguchi G., Akimoto T., Shintani T., Ohashi Y., Sato H. Influence of previous percutaneous coronary intervention on clinical outcome of coronary artery bypass grafting: a meta-analysis of comparative studies. *Interact. Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2015;20(4):531–537; discussion 537. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivv449>
12. Gomes W.J., Giannotti-Filho O., Paez R.P., Hossne N.A. Jr., Catani R., Buffolo E. Coronary artery and myocardial inflammatory reaction induced by intracoronary stent. *Ann. Thorac. Surg.* 2003;76:1528–1532. [https://doi.org/10.1016/s0003-4975\(03\)00872-5](https://doi.org/10.1016/s0003-4975(03)00872-5)
13. Niccoli G., Montone R.A., Lanza G.A., Crea F. Angina after percutaneous coronary intervention: The need for precision medicine. *Int. J. Cardiol.* 2017;248:14–19. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2017.07.105>
14. Затолокин В.В., Алишеров Ю.У., Вечерский Ю.Ю., Панфилов Д.С., Козлов Б.Н. Особенности ультразвуковой флоуметрии коронарных шунтов у пациентов после множественных чрескожных коронарных вмешательств. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины.* 2023;38(3):179–184. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-39-3-179-184>
Zatolokin V.V., Alisherov Yu.U., Vechersky Yu.Yu., Panfilov D.S., Kozlov B.N. Features of ultrasound flowmetry of coronary bypass grafts in patients after multiple percutaneous coronary interventions. *Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine.* 2023;38(3):179–184. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-39-3-179-184>
15. Massoudy P., Thielmann M., Lehmann N., Marr A., Kleikamp G., Maleszka A. et al. Impact of prior percutaneous coronary intervention on the outcome of coronary artery bypass surgery: a multicenter analysis. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2009;137:840–845. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2008.09.005>
16. Sakaguchi G., Shimamoto T., Komiya T. Impact of repeated percutaneous coronary intervention on long-term survival after subsequent coronary artery bypass surgery. *J. Cardiothorac. Surg.* 2011;6:107. <https://doi.org/10.1186/1749-8090-6-107>
17. Camici P.G., Crea F. Coronary microvascular dysfunction. Imaging techniques for assessment of coronary flow reserve. *N. Engl. J. Med.* 2007;356(8):830–840. <https://doi.org/10.1056/NEJMra061889>
18. Mangiacapra F., Del Buono M.G., Abbate A., Gori T., Barbato E., Montone R.A. et al. Role of endothelial dysfunction in determining angina after percutaneous coronary intervention: Learning from pathophysiology to optimize treatment. *Prog. Cardiovasc. Dis.* 2020;63:233–242. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2020.02.009>

Информация о вкладе авторов

Затолокін В.В. – отбор пациентов на исследование, первичная редакция статьи, разработка и утверждение дизайна исследования; Алишеров Ю.У. – статистический анализ полученных данных, написание статьи и обзор литературы; Панфилов Д.С. – обзор литературы и написание статьи; Мочула А.В. – отбор пациентов на исследование; Завадовский К.В. – руководство НИР, редактирование статьи; Козлов Б.Н. – руководство НИР, редактирование статьи.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи перед подачей.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах

Затолокін Василий Викторович, канд. мед. наук, старший научный сотрудник, врач-сердечно-сосудистый хирург, отделение сердечно-сосудистой хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, Россия, e-mail: zatolokin@cardio-tomsk.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3952-9983>.

Алишеров Юсуфжон Улугбек угли, врач-сердечно-сосудистый хирург, отделение сердечно-сосудистой хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, Россия, e-mail: lion19-93@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7540-7855>.

Панфилов Дмитрий Сергеевич, д-р мед. наук, старший научный сотрудник, отделение сердечно-сосудистой хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, Россия, e-mail: pand2006@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0003-2201-350X>.

Мочула Андрей Викторович, канд. мед. наук, старший научный сотрудник, отделение рентгенохирургических методов диагностики и лечения, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, Россия, e-mail: mochula.andrew@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0883-466X>.

Завадовский Константин Валерьевич, д-р мед. наук, заведующий отделом лучевой диагностики, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, Россия, e-mail: konstz@cardio-tomsk.ru; <http://orcid.org/0000-0002-1513-8614>.

Козлов Борис Николаевич, д-р мед. наук, профессор, заведующий отделением сердечно-сосудистой хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, Россия, e-mail: bnkozlov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0217-7737>.

Поступила 18.09.2025;
рецензия получена 05.03.2026;
принята к публикации 11.03.2026.

Information on author contributions

Zatolokin V.V. – selection of patients for the study, initial revision of the article, development and approval of the study design; Alisherov Yu.U. – statistical analysis of the obtained data, article writing, and literature review; Panfilov D.S. – literature review and article writing; Mochula A.V. – selection of patients for the study; Zavadovsky K.V. – management of scientific research work, editing the article; Kozlov B.N. – management of scientific research work, editing the article.

All authors have read and approved the final manuscript for submission.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Information about the authors

Vasily V. Zatolokin, Cand. Sci. (Med.), Senior Research Scientist, Cardiovascular Surgeon, Department of Cardiovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC, Tomsk, Russia, e-mail: zatolokin@cardio-tomsk.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3952-9983>

Yusufjon Ulugbek ugli Alisherov, Cardiovascular Surgeon, Department of Cardiovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC, Tomsk, Russia, e-mail: lion19-93@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7540-7855>.

Dmitri S. Panfilov, Dr. Sci. (Med.), Senior Research Scientist, Department of Cardiovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC, Tomsk, Russia, e-mail: pand2006@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0003-2201-350X>.

Andrey V. Mochula, Cand. Sci. (Med.), Senior Research Scientist, Department of X-ray Surgical Methods of Diagnosis and Treatment, Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC, Tomsk, Russia, e-mail: mochula.andrew@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0883-466X>.

Konstantin V. Zavadovsky, Dr. Sci. (Med.), Head of the Department of Radiation Diagnostics, Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC, Tomsk, Russia, e-mail: konstz@cardio-tomsk.ru; <http://orcid.org/0000-0002-1513-8614>.

Boris N. Kozlov, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Cardiovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC, Tomsk, Russia, e-mail: bnkozlov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0217-7737>.

Received 18.09.2025;
review received 05.03.2026;
accepted for publication 11.03.2026.