

УДК 616-005.4:616.13-089:612.135:616-073.53:616-073.96

3.1.15 Сердечно-сосудистая хирургия

DOI: 10.37903/vsgma.2024.3.16 EDN: MBBKNV

КОНТРОЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХИРУРГИЧЕСКОЙ РЕВАСКУЛЯРИЗАЦИИ ПРИ КОРОНАРНОМ ШУНТИРОВАНИИ У ПАЦИЕНТОВ С ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ СЕРДЦА МЕТОДОМ ПРЯМОЙ ОЦЕНКИ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ МИОКАРДА© Мамадалиев Д.М.¹, Сидоров В.В.²¹Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова, Россия, 105203, Москва, ул. Нижняя Первомайская, 70²Научно-производственное предприятие «ЛАЗМА», Россия, 123458, Москва, ул. Твардовского, 8*Резюме*

Цель. Улучшить результаты коронарного шунтирования у пациентов с ишемической болезнью сердца путем усовершенствования контроля эффективности реваскуляризации методом прямой оценки перфузии крови миокарда.

Методика. Для оценки динамики показателей перфузии крови миокарда до и после коронарного шунтирования применялась лазерная доплеровская флоуметрия с помощью портативного анализатора «ЛАЗМА ПФ». В ходе пилотного проспективного исследования в относительных единицах оценивались основные диагностические показатели, такие как: средняя перфузия крови в системе микроциркуляции, среднее значение нутритивного кровотока или доля кровотока по капиллярам, часть кровотока по артерио-веноулярным анастомозам. Дефинитивный контроль эффективности реваскуляризации проводился посредством ультразвуковой доплеровской флоуметрии кровотока в сформированных кондуитах с помощью аппарата MiraQ Cardiac. Для оценки кровотока оценивались средняя объемная скорость, индекс пульсации и процент диастолического объемного наполнения.

Результаты. Положительный прирост перфузии после коронарного шунтирования, подтверждаемый удовлетворительными значениями ультразвуковой доплеровской флоуметрии, регистрировался в 70% наблюдений. В большинстве случаев его величина в среднем составила 21%. При предварительном корреляционном анализе методик по основным параметрам было отмечено, что положительный прирост средней перфузии крови в системе микроциркуляции наблюдался при значениях средней объемной скорости кровотока по шунтам ≥ 25 мл/мин. Полученные данные согласуются с критериями руководства по реваскуляризации миокарда ESC/EACTS.

Заключение. Реализация метода лазерной доплеровской флоуметрии в виде портативного анализатора «ЛАЗМА ПФ» лишена большинства недостатков и может стать ведущим способом оперативного интраоперационного анализа качества реваскуляризации миокарда.

Ключевые слова: ишемическая болезнь сердца, коронарное шунтирование, реваскуляризация, перфузия, кровоток, микроциркуляция, лазерная доплеровская флоуметрия

VERIFICATION OF THE SURGICAL REVASCULARIZATION QUALITY DURING CORONARY BYPASS SURGERY IN PATIENTS WITH CORONARY ARTERY DISEASE BY DIRECT ASSESSMENT OF MYOCARDIAL BLOOD MICROCIRCULATIONMamadaliyev D.M.¹, Sidorov V.V.²¹National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov, 70, Nizhnyaya Pervomayskaya St., 105203, Moscow, Russia²Scientific and production enterprises "LAZMA" Ltd, 8, Tvardovskogo St., 123458, Moscow, Russia*Abstract*

Objective. To improve the results of coronary bypass surgery in patients with coronary heart disease by upgrade in verification of surgical revascularization quality via direct assessment of myocardial blood perfusion.

Methods. The wearable analyzer "LASMA PF" with laser Doppler flowmetry was used to assess dynamics of myocardial perfusion indicators before and after coronary bypass surgery. In the pilot

prospective study main diagnostic parameters were evaluated in relative units, such as average blood perfusion in microcirculation system, average value of nutritive blood flow or fraction of blood flow through capillaries and part of blood flow through arteriovenular anastomoses. Definitive verification of revascularization quality was performed by ultrasound Doppler flowmetry of blood flow in created conduits using the MiraQ Cardiac device. To assess blood flow were evaluated average volume velocity, pulsation index and percentage of diastolic volume filling.

Results. Beneficial increase of perfusion after coronary bypass surgery confirmed by acceptable values after ultrasound Doppler flowmetry was recorded in 70% of observations. In most cases its average value was 21%. After preliminary correlation analysis of methods for main parameters it was noted that beneficial increase of the average blood perfusion in microcirculation system was observed if values of the mean graft flow were ≥ 25 ml/min. The data obtained are consistent with criteria of the guidelines for myocardial revascularization ESC/EACTS.

Conclusions. Implementation of the laser Doppler flowmetry method in wearable form of "LASMA PF" analyzer is devoid of most disadvantages and can become the leading method of rapid intraoperative analysis of myocardial revascularization quality.

Keywords: coronary heart disease, coronary bypass surgery, revascularization, perfusion, blood flow, microcirculation, laser doppler flowmetry

Введение

Ишемическая болезнь сердца (ИБС), будучи основной причиной утраты трудоспособности и смертности взрослого населения, по-прежнему остается наиболее значимой медико-социальной и экономической проблемой во всем мире [3, 6, 17]. Общая заболеваемость по данной нозологии в России в 2020 г. составила 7489 на 100 тыс. человек [12].

Однако прогрессивное развитие методов консервативного и хирургического лечения коронарного атеросклероза в последние десятилетия позволило значительно улучшить качество жизни и снизить смертность пациентов с ИБС [15]. Число случаев/дней временной нетрудоспособности уменьшилось с 258689/6283460 в 2019 году до 199355/5242027 в 2020 г. Хотя количество больных, скончавшихся от осложнений ИБС, в том числе инфаркта миокарда (ИМ), увеличилось с 301,4 на 100 тыс. человек в 2019 г. до 347,3 в 2020 г., сохраняется общая положительная динамика с 2005 г. (435,9) [12].

Несмотря на совершенствование медикаментозной поддержки, существенную роль в лечении атеросклеротического поражения венечных артерий занимает и хирургический метод. Широкое распространение операций коронарного шунтирования (КШ) стало основной причиной снижения смертности от ИБС, произошедшего в США в последние десятилетия [20]. В России количество пациентов, оперированных по поводу ИБС, ежегодно увеличивается на 14-17%, из них с применением КШ – на 7-10% [2, 6, 17].

Тем не менее, адекватность и эффективность КШ по-прежнему зависят от индивидуальных качеств хирурга. Периоперационный инфаркт миокарда (ПИМ) определяется в 2-19% случаев в зависимости от хирургической школы, принятых в различных клиниках диагностических алгоритмов и критериев [5, 7, 11, 14, 16, 18, 21, 24]. Госпитальная летальность при этом осложнении по разным данным достигает 9-36% [1, 25-26]. Стремление предотвратить ПИМ и улучшить результаты лечения пациентов с ИБС побудили коронарных хирургов искать надежный способ оценки кровотока по шунтам.

Цель исследования – улучшить результаты КШ у пациентов с ИБС путем усовершенствования контроля эффективности реваскуляризации методом прямой оценки перфузии крови миокарда.

Методика

Для оценки динамики показателей перфузии крови миокарда после КШ использовался портативный анализатор «ЛАЗМА ПФ» (ООО НПФ «ЛАЗМА», Москва, Россия, регистрационное удостоверение Росздравнадзора от 26.11.2018 №РЗН 2018/7853). В анализаторе «ЛАЗМА ПФ» в качестве метода диагностики состояния микроциркуляции крови реализована лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) [8, 28]. В ходе исследования в относительных единицах оценивались основные диагностические показатели, такие как М (средняя перфузия крови в

системе микроциркуляции), $M_{\text{нутр}}$ (среднее значение нутритивного кровотока или доля кровотока по капиллярам) и $M_{\text{шунт}}$ (часть кровотока по артерио-венулярным анастомозам).

Стерилизация датчиков проводилась методом сухого низкотемпературного воздействия газовой плазмы перекиси водорода на установке STERRAD 100S (Johnson & Johnson, New Brunswick, USA). После настройки программного обеспечения и проверки производительности оборудования начата реализация экспериментальной части исследования (рис. 1).



Рис. 1. Анализатор «ЛАЗМА ПФ» в стерильной упаковке после обработки на аппарате STERRAD 100S

Исследование выполнено с информированного добровольного согласия пациентов. По принятой в Клинике грудной и сердечно-сосудистой хирургии Пироговского Центра методике под общей многокомпонентной анестезией пациентам выполнялась срединная стернотомия. После выделения внутренних грудных артерий (ВГА), рассечения перикарда и наложения кистет проводилась канюляция аорты. До канюляции правого предсердия и начала искусственного кровообращения (ИК) с помощью анализатора «ЛАЗМА ПФ» выполнялось исследование параметров перфузии крови миокарда в бассейнах артерий, где планировалось формирование коронарных анастомозов в ходе прямой реваскуляризации (рис. 2).

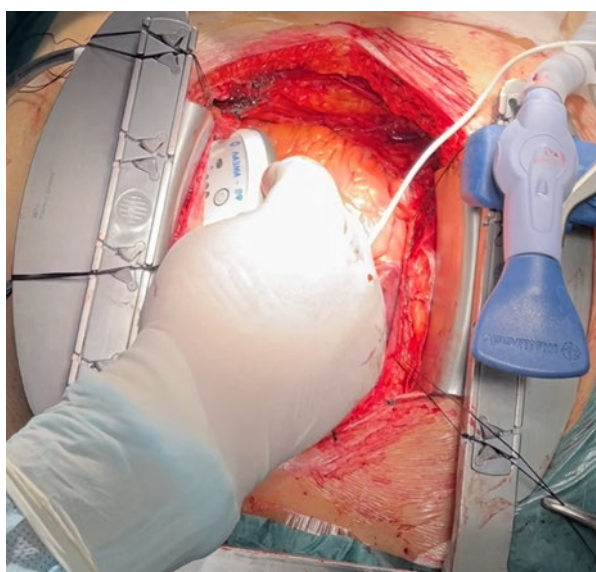


Рис. 2. Процесс установки анализатора «ЛАЗМА ПФ»

Изучение кровоснабжения миокарда в бассейне передней межжелудочковой ветви (ПМЖВ) левой коронарной артерии выполнялось в области передне-боковой стенки левого желудочка ближе к верхушке сердца, в бассейне огибающей ветви (ОВ) – в области задней стенки левого желудочка, в бассейне правой коронарной артерии (ПКА) – в области нижней стенки под острым краем (рис. 3).

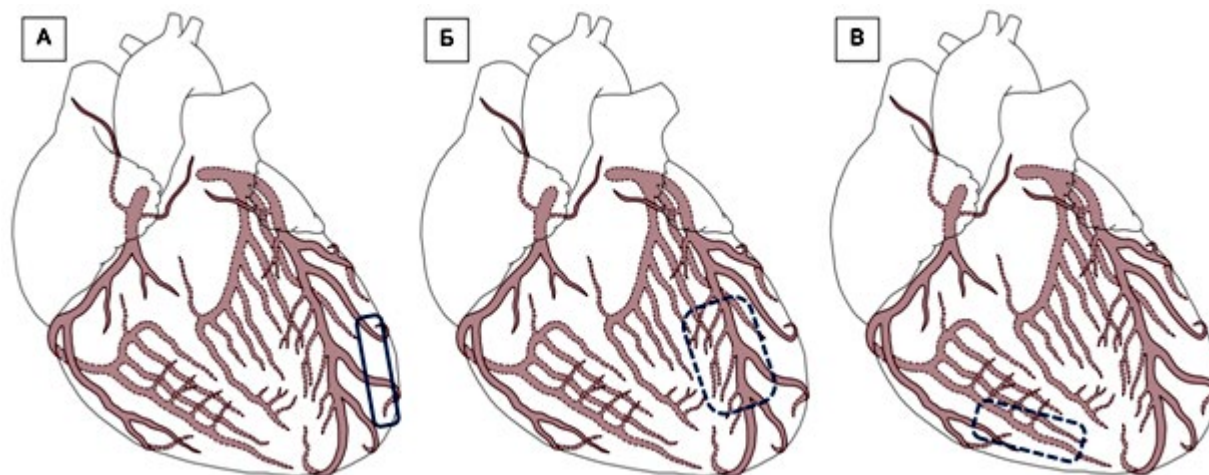


Рис. 3. Области измерения показателей перфузии крови миокарда: А – передняя межжелудочковая ветвь левой коронарной артерии, Б – огибающая ветвь левой коронарной артерии, В – правая коронарная артерия

Скрининговое исследование проводилось в течение 2-3 минут, затем выполнялось КШ (рис. 4).

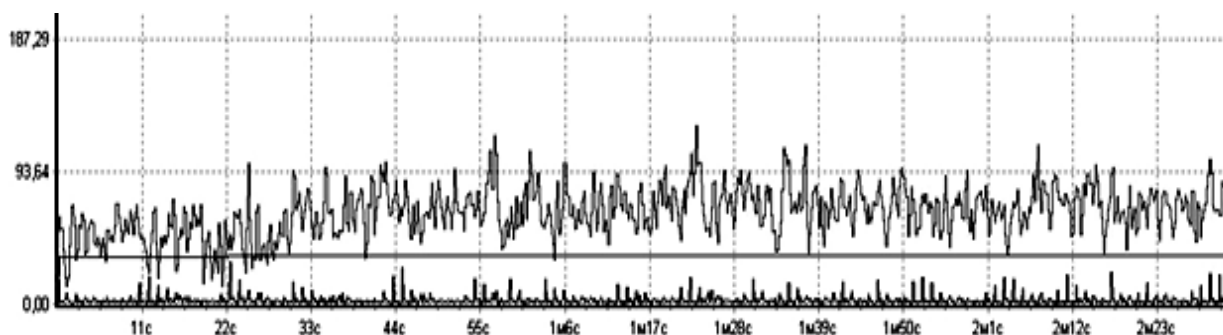


Рис. 4. Графическое отображение результатов, зарегистрированных анализатором «ЛАЗМА ПФ» у пациента №3 в области передней межжелудочковой ветви до коронарного шунтирования: лазерная доплеровская флоуметрия (красный цвет линии) – $M=69,6$ перфузионных единиц; температура области исследования (синий цвет) – $34,2^{\circ}\text{C}$; механические движение ткани миокарда (черный цвет)

После остановки ИК и деканюляции предсердия проводилось повторное исследование показателей перфузии крови в интересующих зонах (рис. 5).

Дефинитивный контроль эффективности КШ проводился посредством ультразвуковой доплеровской флоуметрии (УДФ) кровотока в сформированных кондуктах с помощью аппарата MiraQ Cardiac (Medistim ASA, Oslo, Norway). Для оценки кровотока определялись средняя объемная скорость (Q_{mean} или MGF, ml/min), индекс пульсации (PI) и процент диастолического объемного наполнения (DF, %).

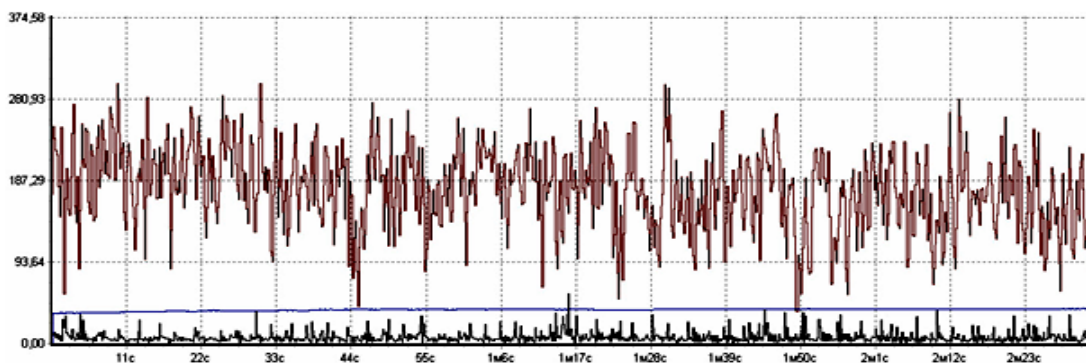


Рис. 5. Графическое отображение результатов, зарегистрированных анализатором «ЛАЗМА ПФ» у пациента № 3 в области передней межжелудочковой ветви после коронарного шунтирования: лазерная доплеровская флоуметрия (красный цвет линии) – $M=178$; температура области исследования (синий цвет) – $38,7^{\circ}\text{C}$; механические движение ткани миокарда (черный цвет). Прирост по величине показателя микроциркуляции крови составил 156%, температура увеличилась на $4,5^{\circ}\text{C}$

Согласно руководству по реваскуляризации миокарда Европейского Общества Кардиологов (ESC) и Европейской Ассоциации Кардио-Торакальной Хирургии (EACTS) оптимальными значениями MGF считались ≥ 20 мл/мин [27]. Показатели PI считались приемлемыми в пределах от 1 до 3 [19], а DF $\geq 50\%$ [23]. УДФ так же выполнялась после остановки ИК (рис. 6 и 7).

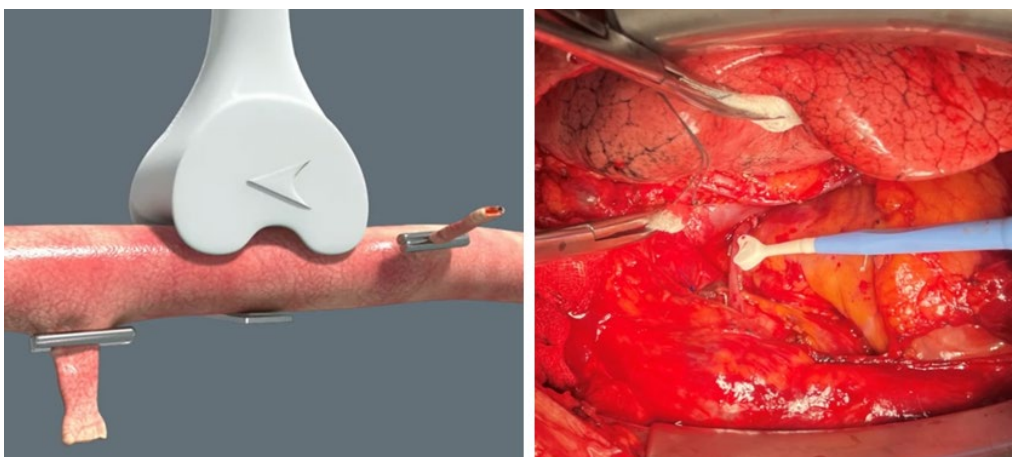


Рис. 6. Методика проведения ультразвуковой доплеровской флоуметрии (венозный графт)

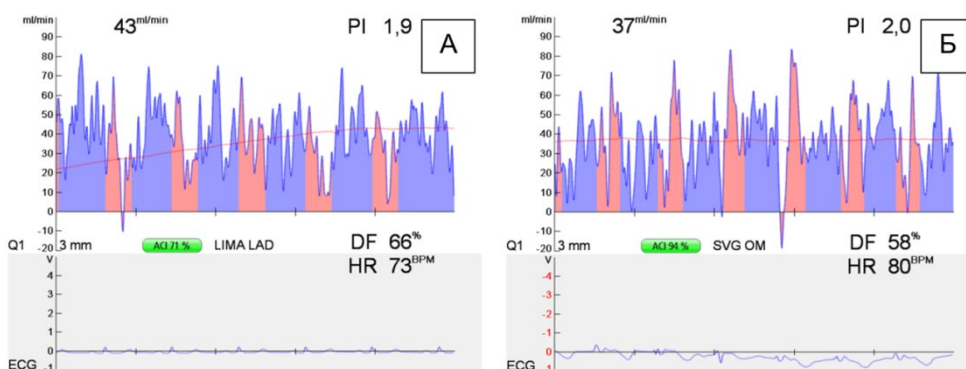


Рис. 7. Примеры графического отображения результатов ультразвуковой доплеровской флоуметрии: А – анастомоз левой внутренней грудной артерии с передней межжелудочковой ветвью, Б – анастомоз аутовены с огибающей ветвью

Результаты исследования и их обсуждение

Основные полученные данные представлены в таблицах 1-3.

Таблица 1. Область передней межжелудочковой ветви левой коронарной артерии

№ п/п	М (до)	М (после)	ΔМ (%)	Мнутр (до)	Мнутр (после)	ΔМнутр (%)	Мшунт (до)	Мшунт (после)	ΔМшунт (%)	MGF (мл/мин)	PI	DF (%)
1	39,72	46,64	17	12,81	20,10	57	26,91	26,54	-1	43	1,9	66
2	37,52	40,86	9	12,00	21,83	82	25,52	19,03	-25	36	4,8	57
3	69,59	178,01	156	37,39	88,65	137	32,20	89,36	178	48	6,3	60
5	31,00	35,99	16	11,52	11,45	-1	19,48	24,54	26	25	8,1	71
6	34,81	44,00	26	11,18	27,59	147	23,63	16,41	-31	47	2,8	-
7	35,78	40,95	14	14,64	29,27	100	21,14	11,68	-45	70	5,8	-
8	38,67	52,77	36	16,71	30,61	83	21,96	22,16	1	34	7,2	61
9	42,17	48,34	15	15,54	13,24	-15	26,63	35,10	32	23	6,0	58
10	35,36	42,64	21	15,25	33,63	121	20,11	9,01	-55	13	35,4	-

Таблица 2. Область огибающей ветви левой коронарной артерии

№ п/п	М (до)	М (после)	ΔМ (%)	Мнутр (до)	Мнутр (после)	ΔМнутр (%)	Мшунт (до)	Мшунт (после)	ΔМшунт (%)	MGF (мл/мин)	PI	DF (%)
2	57,99	39,98	-31	9,74	9,04	-7	48,25	30,94	-36	24	6,7	45
3	61,13	105,64	73	28,25	52,28	85	32,88	53,36	62	37	2,0	58
4	32,44	68,57	111	14,48	36,98	155	17,96	31,59	76	53	6,0	-
5	39,08	37,32	-5	11,29	19,07	69	27,79	18,25	-34	22	5,0	64
6	51,85	63,76	23	12,69	17,30	36	39,16	46,46	19	45	3,6	-
8	41,06	29,84	-27	18,47	8,24	-55	22,59	21,60	-4	-	-	-

Таблица 3. Область правой коронарной артерии

№ п/п	М (до)	М (после)	ΔМ (%)	Мнутр (до)	Мнутр (после)	ΔМнутр (%)	Мшунт (до)	Мшунт (после)	ΔМшунт (%)	MGF (мл/мин)	PI	DF (%)
7	47,72	62,02	30	16,12	46,10	186	31,60	15,92	-50	-	-	-
9	45,04	43,13	-4	21,05	7,26	-66	23,99	35,87	50	82	2,6	45

Согласно полученным данным, в области ПМЖВ наблюдалось увеличение показателей перфузии крови после выполнения КШ, подтверждаемое удовлетворительными значениями УДФ, во всех наблюдениях (табл. 1). Те же показатели при измерениях в области ОВ выявлены у пациентов №3, 4 и 6 (табл. 2), а при изучении области ПКА – у больного №7 (табл. 3).

Следует отметить, что в большинстве указанных случаев величина прироста перфузии (ΔМ) в среднем составила 21%, вероятно, ввиду исходно низких показателей микроциркуляции крови (М) в изучаемых ишемизированных зонах – в среднем около 39. У пациента №3 и в области ПМЖВ, и в области ОВ регистрировался значительный прирост перфузии (156% и 73% соответственно) на фоне сравнительно пониженной изначальной тканевой перфузии (69,59 и 61,13 соответственно).

Однако при исследовании перфузии в области ОВ у пациентов №2, 5 и 8, а также в области ПКА у пациента №9 отмечалось ухудшение показателей микроциркуляции крови при удовлетворительных значениях УДФ. Возможными причинами расхождения данных рассматриваются следующие факторы: трудности фиксации датчика ЛДФ в бассейне ОВ и ПКА; специфика коронарной анатомии с преобладанием правого типа кровоснабжения, особенно при окклюзии ПМЖВ [22]; дефект анастомозов, дефицит воспринимающего дистального русла, коронарораспизм на фоне введения вазотоников, реперфузионный синдром в ишемизированном миокарде с медленным восстановлением кровоснабжения – все это может косвенно быть подтверждено несколько увеличенным индексом PI и снижением параметра DF [19, 23].

В наблюдении №2, учитывая выше сказанное, помимо кондуита к собственно ОВ сформирован дополнительный аутовенозный шунт крупной ВТК на параллельном ИК. После получения удовлетворительных значений УДФ, стабилизации параметров центральной гемодинамики и улучшения показателей ЭКГ, принято решение о завершении полной реваскуляризации миокарда.

При предварительном корреляционном анализе методик ЛДФ и УДФ по основным параметрам (ΔМ и MGF) было отмечено, что положительный прирост средней перфузии крови в системе микроциркуляции наблюдался при значениях средней объемной скорости кровотока по шунтам

≥ 25 мл/мин. Полученные данные согласуются с критериями руководства по реваскуляризации миокарда ESC/EACTS [27]. При этом положительный прирост ΔM после КШ регистрировался в 70% наблюдений.

Несмотря на прогрессивное развитие современной кардиохирургии, актуальным и крайне важным остается вопрос оценки качества и достаточности объема выполненной реваскуляризации миокарда. В настоящее время золотым стандартом интраоперационной оценки функции кондуитов и качества коронарных анастомозов является коронарошунтография (КШГ) [29]. Однако вопреки большому опыту успешного клинического применения и признанному во всем мире преимуществам данное исследование является хирургическим, а потому имеет ассоциированные риски для больного [10, 14, 25].

Существуют и другие методы, такие как УДФ, перфузионная сцинтиграфия миокарда, стресс-эхокардиография, термальная ангиография, флуоресцентная визуализация с индоцианином, электромагнитная флоуметрия, которые также доказали свою эффективность и прочно вошли в рутинную клиническую практику высокотехнологичной медицинской помощи. К их недостаткам относятся менее качественная визуализация шунтов и ограничение выполнения после операции, что снижает возможность динамической оценки функционирования шунтов [4].

Ни один из представленных способов оценки кровоснабжения миокарда при изолированном применении по-прежнему не позволяет однозначно ответить на вопрос качества выполненной реваскуляризации. Некоторые из диагностических исследований сопряжены с дополнительными рисками развития осложнений, трудоемки и дорогостоящи при исполнении, не позволяют оценить микроциркуляторные аспекты перфузии крови, а интраоперационно могут быть выполнены только КШГ и УДФ.

В связи с этим значимым представляется появление альтернативного метода анализа маркеров, характеризующих состояние микроциркуляции миокарда, что в настоящий момент уже реализовано в условиях экспериментальной модели у кроликов с помощью лазерной доплеровской флоуметрии [13]. Учитывая особенности вегетативной регуляции кровообращения в различных органах и тканях, особый интерес представляет потенциальный сопоставительный анализ изменений микрогемодинамики в кожных покровах и в самом миокарде [9].

Заключение

Реализация известного метода лазерной доплеровской флоуметрии в виде портативного прибора «ЛАЗМА ПФ», работающего без оптического волоконного зонда и имеющего встроенный источник питания, лишена большинства недостатков других способов анализа качества реваскуляризации миокарда и может быть успешно реализована интраоперационно. Выполненное нами исследование демонстрирует оперативность и эффективность оценки перфузии крови миокарда с помощью данного метода, который после усовершенствования техники проведения измерений и аппаратуры, может стать ведущим в современной кардиохирургии.

Литература (references)

1. Белов Ю.В., Россейкин Е.В. Концепция «адекватной» реваскуляризации миокарда – новое направление в хирургическом лечении ишемической болезни сердца // Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. – 2001. – №2. – С. 50-54. [Belov Yu.V., Rosseykin E.V. *Grudnaya i serdechno-sosudistaya khirurgiya*. Thoracic and cardiovascular surgery. – 2001. – N2. – P. 50-54. (in Russian)]
2. Бокерия Л.А., Керен М.А., Енокян Л.Г. Отдаленные результаты аортокоронарного шунтирования у больных ишемической болезнью сердца пожилого и старческого возраста // Анналы хирургии. – 2012. – №2. – С. 15-21. [Bokeriya L.A., Keren M.A., Enokyan L.G. *Annaly khirurgii*. Annals of surgery. – 2012. – N2. – P. 15-21. (in Russian)]
3. Бокерия Л.А., Гудкова Л.Г. Сердечно-сосудистая хирургия. Болезни и врожденные аномалии системы кровообращения. – Москва: НЦССХ им. А.Н. Бакулева, 2014. – 226 с. [Bokeriya L.A., Gudkova L.G. *Serdechno-sosudistaya khirurgiya. Bolezni i vrozhdennyye anomalii sistemy krovoobrashcheniya*. Cardiovascular surgery. Diseases and congenital anomalies of circulatory system. – Moscow: NTsSSKh im. A.N. Bakuleva, 2014. – 226 p. (in Russian)]
4. Бокерия Л.А., Алемян Б.Г., Чигогидзе Н.А. Значение интраоперационной шунтографии при хирургической реваскуляризации миокарда // Анналы хирургии. – 2015. – №2. – С.16-23. [Bokeriya L.A., Alemyan B.G., Chigogidze N.A. *Annaly khirurgii*. Annals of surgery. – 2015. – N2. – P. 16-23. (in Russian)]
5. Бондарева З.Г., Тетерина Е.В. Периоперационный инфаркт миокарда у больных после аортокоронарного шунтирования: частота встречаемости и трудности диагностики // Российский кардиологический

- журнал. – 2008. – Т.73, №5. – 68-75. [Bondareva Z.G., Teterina E.V. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal*. Russian journal of cardiology. – 2008. – V.73, N5. – P. 68-75. (in Russian)]
6. Борщев Г.Г., Попов Л.В., Вахромеева М.Н. Анализ отдаленных результатов при коронарном шунтировании без ИК у исходно тяжелобольных ИБС при разном объеме реваскуляризации // Материалы Всероссийского конгресса с международным участием «Хирургия – XXI век: соединяя традиции и инновации» (Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова). – Москва, 2016. – С. 114. [Borshchev G.G., Popov L.V., Vakhromeeva M.N. *Materialy Vserossiyskogo kongressa s mezhdunarodnym uchastiem «Khirurgiya – XXI vek: soedinyaya traditsii i innovatsii» (Natsional'nyy mediko-khirurgicheskiy Esentr im. N.I. Pirogova)*. Materials of the Russian congress with international participation "Surgery – XXI century: connecting traditions and innovations" (National medical and surgical Center named after N.I. Pirogov). – Moscow, 2016. – P. 114. (in Russian)]
 7. Дембеле А., Пастухова Н.К. Периоперационные осложнения аортокоронарного шунтирования в зависимости от длительности периода от начала острого инфаркта миокарда // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – Т.36, №5. – С. 59-61. [Dembele A., Pastukhova N.K. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. International scientific research journal. – 2015. – V.36, N5. – P. 59-61. (in Russian)]
 8. Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови. Руководство для врачей. – Москва: ОАО «Издательство «Медицина», 2005. – 256 с. [Krupatkin A.I., Sidorov V.V. *Lazernaya dopplerovskaya floumetriya mikrotsirkulyatsii krovi. Rukovodstvo dlya vrachei*. Laser Doppler flowmetry of blood microcirculation. The guide for doctors. – Moscow: ОАО «Izdatel'stvo «Meditsina», 2005. – 256 p. (in Russian)]
 9. Крупаткин А. И., Сидоров В. В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: Колебания, информация, нелинейность (руководство для врачей). – Москва: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 496 с. [Krupatkin A. I., Sidorov V. V. *Funktsional'naya diagnostika sostoyaniya mikrotsirkulyatorno-tkanevykh sistem: Kolebaniya, informatsiya, nelineinost' (rukovodstvo dlya vrachei)*. Functional diagnostics of the microcirculatory and tissue systems state: Fluctuations, information, nonlinearity (the guide for doctors). – Moscow: Knizhnyi dom «LIBROKOM», 2013. – 496 p. (in Russian)]
 10. Литвиненко И.В. Возможности ОФЭКТ-КТ в диагностике стенозов коронарных артерий // Медицинская визуализация. – 2015. – №2. – С. 53-66. [Litvinenko I.V. *Meditsinskaya vizualizatsiya*. Medical imaging. – 2015. – N2. – P. 53-66. (in Russian)]
 11. Мамадалиев Д.М., Гудымович В.Г., Федотов П.А. Факторы риска возникновения периоперационного инфаркта миокарда и его влияние на результаты госпитального лечения // Бюллетень XXI Всероссийского съезда сердечно-сосудистых хирургов (Научный Центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева). – Москва, 2015. – Т.16, №6. – С. 76. [Mamadaliyev D.M., Gudymovich V.G., Fedotov P.A. *Byulleten' XXI Vserossiyskogo s'ezda serdechno-sosudistykh khirurgov (Nauchnyy Tsentserdechno-sosudistoy khirurgii im. A.N. Bakuleva)*. Bulletin of the XXI Russian congress of cardiovascular surgeons (Scientific Center of cardiovascular surgery named after A.N. Bakulev). – Moscow, 2015. – V.16, N6. – P. 76. (in Russian)]
 12. Смелов П.А., Никитина С.Ю. Здравоохранение в России. 2021: статистический сборник. – Москва: Федеральная служба государственной статистики, 2021. – 171 с. [Smelov P.A., Nikitina S.Yu. *Zdravookhranenie v Rossii. 2021: statisticheskii sbornik*. Healthcare in the Russia. 2021: statistical book. – Moscow: Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki, 2021. – 171 p. (in Russian)]
 13. Халепо О.В., Молотков О.В., Брындин С.В. и др. Реакция микроциркуляторного русла сердца и кожных покровов на экспериментальный ишемический некроз миокарда на фоне гипертрофии у кроликов // Смоленский медицинский альманах. – 2018. – №4. – С. 127-132. [Khalepo O.V., Molotkov O.V., Bryndin S.V. i dr. *Smolenskii meditsinskii al'manakh*. Smolensk medical almanac. – 2018. – N4. – P. 127-132. (in Russian)]
 14. Шевченко Ю.Л., Виллер А.Г., Борисов И.А. Ранние ангиографические результаты аортокоронарного шунтирования // Бюллетень III Всероссийского съезда сердечно-сосудистых хирургов (Научный Центр сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева). – Москва, 1997. – С. 76. [Shevchenko Yu.L., Viller A.G., Borisov I.A. *Byulleten' III Vserossiyskogo s'ezda serdechno-sosudistykh khirurgov (Nauchnyy Tsentserdechno-sosudistoy khirurgii im. A.N. Bakuleva)*. Bulletin of the III Russian congress of cardiovascular surgeons (Scientific Center of cardiovascular surgery named after A.N. Bakulev). – Moscow, 1997. – P. 76. (in Russian)]
 15. Шевченко Ю.Л., Борисов И.А., Попов Л.В. Хирургическое лечение ишемической болезни сердца: современное состояние проблемы // Качество жизни. – 2003. – №2. – С. 25-27. [Shevchenko Yu.L., Borisov I.A., Popov L.V. *Kachestvo zhizni*. The quality of life. – 2003. – N2. – P. 25-27. (in Russian)]
 16. Шевченко Ю.Л., Федотов П.А., Попов Л.В. Анализ адекватности реваскуляризации миокарда у пациентов с многососудистым поражением коронарных артерий // Бюллетень XIII ежегодной сессии Научного Центра сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева с всероссийской конференцией

- молодых ученых. – Москва, 2009. – Т.10, №6. – С. 76. [Shevchenko Yu.L., Fedotov P.A., Popov L.V. *Byulleten' XIII ezhegodnoy sessii Nauchnogo Tsentra serdechno-sosudistoy khirurgii im. A.N. Bakuleva s vserossiyskoy konferentsiyey molodykh uchenykh*. Bulletin of the XIII annual session of the Scientific Center of cardiovascular surgery named after A.N. Bakulev with the Russian conference of young Scientists. – Moscow, 2009. – V.10, N6. – P. 76. (in Russian)]
17. Шевченко Ю.Л., Попов Л.В., Борщев Г.Г. Отдаленные результаты операции коронарного шунтирования без ИК у пациентов с ИБС при выполнении разного объема реваскуляризации // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. – 2015. – Т.10, №3. – С. 9-14. [Shevchenko Yu.L., Popov L.V., Borshchev G.G. *Vestnik Natsional'nogo mediko-khirurgicheskogo Tsentra im. N.I. Pirogova*. Bulletin of the National medical and surgical Center named after N.I. Pirogov. – 2015. – V.10, N3. – P. 9-14. (in Russian)]
 18. Acinapura A.J., Jacobowitz I.J., Kramer M.D. Internal mammary artery bypass: thirteen years of experience. Influence of angina and survival in 5125 patients // *Journal of Cardiovascular Surgery*. – 1992. – V.33. – P. 554-559.
 19. D'Ancona G., Karamanoukian H., Ricci M. et al. Graft revision after transit time flow measurements in off-pump coronary artery bypass grafting // *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. – 2000. – V.17. – P. 287-293.
 20. Ford E.S., Ajani U.A., Croft J.B. Explaining the decrease in U.S. deaths from coronary disease, 1980-2000 // *The New England Journal of Medicine*. – 2007. – V.356, N23. – P. 2388-2398.
 21. Greaves S.C., Rutherford J.D., Aranki S.F. Current incidence and determinants of perioperative myocardial infarction in coronary artery surgery // *American Heart Journal*. – 1996. – V.132. – P. 572-578.
 22. Head S.J., Holmes D.R. Jr., Mack M.J. et al. Risk profile and 3-year outcomes from the SYNTAX percutaneous coronary intervention and coronary artery bypass grafting nested registries // *JACC: Cardiovascular Interventions*. – 2012. – V.5, N6. – P. 618-625.
 23. Honda K., Okamura Y., Nishimura Y. Graft flow assessment using a transit time flow meter in fractional flow reserve-guided coronary artery bypass surgery // *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. – 2015. – V.149. – P. 1622-1628.
 24. Jain U., Laflamme C.A.J., Aggarwal A. Electrocardiographic and hemodynamic changes and their association with myocardial infarction during coronary artery bypass surgery. A multicenter study. Multicenter Study of Perioperative Ischemia (McSPI) Research Group // *Anesthesiology*. – 1997. – V.86. – P. 576-591.
 25. Izzat M.B., Khaw K.S., Atassi W. Routine intraoperative angiography improves the early patency of coronary grafts performed on the beating heart // *Chest*. – 1999. – V.115. – P. 987-990.
 26. Mangano D.T. Aspirin and mortality from coronary bypass surgery // *The New England Journal of Medicine*. – 2002. – V.347. – P. 1309-1317.
 27. Neumann F.-J., Sousa-Uva M., Ahlsson A. et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization // *European Heart Journal*. – 2019. – V.40. – P. 87-165.
 28. Sidorov V.V., Rybakov Yu.L., Gukasov V.M., Evtushenko G.S. A System of Local Analyzers for Noninvasive Diagnostics of the General State of the Tissue Microcirculation System of Human Skin // *Biomedical Engineering*. – 2022. – V.55, N6. – P. 379-382.
 29. Waseda K., Ako J., Hasegawa T. Intraoperative fluorescence imaging system for on-site assessment of off-pump coronary artery bypass graft // *Journal of the American College of Cardiology: Cardiovascular imaging*. – 2009. – V.2. – P. 604-612.

Информация об авторах

Мамадалиев Дильшот Махмутович – кандидат медицинских наук, врач-хирург ФГБОУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России. E-mail: meddetective@mail.ru

Сидоров Виктор Васильевич – доктор технических наук, генеральный директор научно-производственного предприятия «ЛАЗМА». E-mail: victor.v.sidorov@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 13.05.2024

Принята к печати 20.09.2024