

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВЕЛОЭРГОМЕТРИЧЕСКОЙ СТРЕСС-ЭХОКАРДИОГРАФИИ, ДОПОЛНЕННОЙ ОЦЕНКОЙ НАГРУЗОЧНОЙ ВАЗОМОТОРНОЙ ФУНКЦИИ

В.А. Авхименко, А.Б. Тривоженко*

ФГБУ «Сибирский федеральный научно-клинический центр» ФМБА России, Северск

DIAGNOSTIC POTENTIALS OF BICYCLE-EXERCISE STRESS-ECHOCARDIOGRAPHY ADDED WITH THE ASSESSMENT OF LOADED VASOMOTION FUNCTION

V.A. Avkhimenko, A.B. Trivozhenko*

Siberian Federal Scientific and Clinical Center of FMBA of Russia, Seversk, Russian Federation

* E-mail: borisah@yandex.ru

Аннотация

Цель исследования – интегрировать в процесс велоэргометрической стресс-эхокардиографии (стресс-ЭхоКГ) доплеровское исследование кровотока в почечных артериях с определением критериев лимитированной вазомоторной функции. **Материалы и методы.** Обследовано 49 пациентов с верифицированной ишемической болезнью сердца (ИБС) и 48 условно здоровых лиц в возрасте 55 (48–58) лет. В первую группу были включены больные артериальной гипертензией и сахарным диабетом. Велоэргометрическую стресс-ЭхоКГ с оценкой локальной сократимости левого желудочка проводили по стандартному протоколу в вертикальной позиции. Исследование сосудистой реактивности в устьевом сегменте левой почечной артерии осуществлялось при перемещении апертуры датчика из левой трансторакальной в левую транслумбальную позицию и включало мониторинг пиковой скорости кровотока с расчетом индекса резистентности. **Результаты.** Чувствительность стресс-ЭхоКГ в диагностике ИБС составила 77%, специфичность – 96%, данные параметры оказались непротиворечивыми. На этапе велоэргометрии 75 Вт пиковая скорость кровотока в почечной артерии увеличилась на 27% [21.4–37] в группе условно здоровых и на 12% [2.8–11] в группе больных ИБС, причем в меньшей степени у пациентов с сопутствующей артериальной гипертензией и сахарным диабетом. Индекс резистентности у здоровых лиц возрос на 3% [2.5–4.2], а у пациентов с ИБС – на 7% [5.8–7.7]. В процессе нагрузки средней интенсивности у здоровых лиц был зарегистрирован физиологический тип нефрососудистой реактивности, а у пациентов с системным артериосклерозом, артериальной гипертензией или сахарным диабетом в аналогичных условиях наблюдался ригидный тип. **Заключение.** Дополнение стресс-ЭхоКГ нагрузочным измерением кровотока в почечных артериях позволяет оценить общую вазомоторную реактивность, при этом ригидный тип характеризуется малым ростом пиковой скорости кровотока (менее 20%) и выраженным повышением индекса резистентности (более 5%) на этапе велоэргометрии, соответствующей 70% субмаксимальной пороговой мощности.

Ключевые слова: стресс-эхокардиография, велоэргометрия, почечный кровоток, вазомоторная функция.

Abstract

Purpose. To integrate Doppler blood flow examination of renal arteries with determined limited vasomotion function criteria into the bicycle-exercise stress-echocardiography (stress-EchoCG). **Materials and methods.** 49 patients with the verified ischemic heart disease (IHD) and 48 healthy patients, average age 55 [48–58] y.o., were examined. The first group included patients with arterial hypertension and diabetes. Stress-EchoCG with the assessment of local left ventricle contractility was done under the standard protocol in the vertical position. Vascular reactivity of the junction segment in the left renal artery was examined when moving a probe aperture from the left transthoracic position to the left translumbar one and included monitoring of the peak blood flow velocity with calculation of the resistance index. **Results.** Bicycle-exercise stress-echocardiography sensitivity in IHD diagnostics was 77%, specificity – 96%; these parameters were not contradictory. At the bicycle-exercise stage 75 W, the peak velocity in the renal artery blood flow increased by 27% [21.4–37] in healthy subjects; in IHD patients it increased by 12% [2.8–11] with even less percentage in patients with accompanying arterial hypertension and diabetes. The resistance index in healthy subjects increased by 3% [2.5–4.2], and in IHD patients – by 7% [5.8–7.7]. At the average load intensity, healthy subjects had the physiological type of neurological-vascular reactivity, while patients with arteriosclerosis and arterial hypertension or diabetes in similar conditions had the rigid neurological-vascular type. **Conclusion.** Stress-EchoCG added with measurements of loaded blood-flow in the renal arteries allows to estimate the general vasomotion reactivity; its rigid type is characterized with little increase of the peak blood-flow velocity (less than 20%) and with the expressed increase in the resistance index (more than 5%) at the bicycle-exercise stage which corresponds to 70% of the sub-maximum threshold power.

Keywords: stress-echocardiography, bicycle-exercise, renal blood flow, vasomotion function.

Ссылка для цитирования: Авхименко В.А., Тривоженко А.Б. Диагностические возможности велоэргометрической стресс-эхокардиографии, дополненной оценкой нагрузочной вазомоторной функции. *Кремлевская медицина. Клинический вестник.* 2023; 4: 22–27.

Введение

В последние годы появилась позитивная тенденция снижения смертности населения от сердечно-сосудистых болезней. Для ее дальнейшего развития и обеспечения диагностических лечебных и профилактических мероприятий необходимо обеспечение общедоступных информативных и безопасных методов инструментальной диагностики состояния системного и регионального кровообращения. Скрытые патологические изменения кардиоваскулярного комплекса наилучшим образом выявляются в процессе нагрузочных визуально контролируемых исследований, наиболее популярным из которых является стресс-эхокардиография (стресс-ЭхоКГ) [1].

В последнее время просматривается общемировая практика расширения границ метода путем внедрения в диагностический процесс дополнительных технологий [2, 3]. Разработана методика динамического определения состояния ультразвукового паттерна легочной ткани для идентификации транзитного увлажнения легких вследствие стресс-индуцированных застойных явлений [4]. Предложено исследование резервного кровотока в коронарных артериях [2, 5], а также определение потенциальной сократимости левого желудочка (ЛЖ) с физической нагрузкой [6, 7].

Вместе с тем весьма полезным дополнением нагрузочного исследования представляется оценка нагрузочной вазомоторной реактивности, необходимая для идентификации общей органно-сосудистой недостаточности, возникшей вследствие артериальной гипертонии, атеросклеротических или диабетических поражений артериального русла, представляющей собой и патогенетический компонент ишемической болезни сердца (ИБС).

Одним из наиболее чувствительных элементов системного кровообращения, потенциально подверженных ранним морфофункциональным изменениям, являются почечные артерии, устьевые сегменты которых визуализируются при помощи транслюмбального доступа в ортостатической позиции человека, вращающего педали велоэргометра. Будучи первыми ответвлениями системной магистрали, равноудаленными от устья аорты и бедренных артерий, устьевые сегменты представляются эталонным артериальным звеном для велоэргометрической оценки вазомоторного статуса. Простота реализации транслюмбального доплеровского исследования позволяет предположить перспективную возможность точного определения динамического изменения скоростно-резистентных перфузионных показателей с низкой измерительной вариабельностью.

Таким образом, просматривается очевидная целесообразность дополнения стресс-ЭхоКГ обозначенной ренальной доплерографией на этапах велоэргометрии (ВЭМ) для раннего выявления ограниченной сосудодвигательной функции у пациентов с предполагаемой скрытой коронарной недостаточностью (СКН).

Цель исследования – интегрировать в процесс велоэргометрической стресс-ЭхоКГ доплеровское исследование кровотока в почечных артериях с определением критериев лимитированной вазомоторной функции.

Материалы и методы

В Сибирском федеральном научно-клиническом центре ФМБА России были обследованы две группы

пациентов сопоставимого возраста: больные с верифицированной ИБС и условно здоровые лица. Основным критерием включения была изначально проведенная коронароангиография, в процессе которой в соответствии с критериями ВОЗ гемодинамически значимым стенозом, позволяющим утвердительно поставить диагноз ИБС, признавалось сужение сосудистых просветов на 50% и более.

Первая, основная, группа состояла из 49 пациентов с коронарной недостаточностью. В нее вошли 34 мужчины и 15 женщин в возрасте 44–62 лет (53 [47–58]). У 42 (86%) человек были верифицированы однососудистые стенозы либо в правой коронарной, либо в передней нисходящей артерии (ПрКА, ПНА), а у 7 (14%) – двухсосудистые поражения, при которых наиболее выраженные сужения находились лишь в одном из обозначенных сосудов. Среди сопутствующих заболеваний чаще всего регистрировалась артериальная гипертония первой-второй степени по классификации АСС/АНА-2017, ESC/ESH-2018, которая присутствовала у 32 (65%) пациентов данной группы [8]. Сахарный диабет второго типа был выявлен у 8 (16%) человек, гиперлипотеидемия определялась у 28 (57%) обследуемых лиц; кроме этого, 12 (24%) человек страдали ожирением первой-второй степени.

Во вторую, контрольную, группу условно здоровых лиц были включены 28 мужчин и 20 женщин в возрасте 43–60 лет (54 [49–58]) без коронарных стенозов, с нормальным уровнем артериального давления (АД), с отсутствием подтвержденных заболеваний периферического артериального русла.

В исследовании не вошли пациенты с недостаточностью кровообращения второго функционального класса по NYHA и более; серьезными нарушениями ритма; болезнями клапанного аппарата; лица, перенесшие крупноочаговые инфаркты миокарда; больные артериальной гипертонией третьей степени. Дополнительными противопоказаниями для включения пациентов в исследование были любые заболевания, исключающие проведение ВЭМ, болезни почек или нефрососудистые поражения, а также неадекватная визуализация сердечных структур и почечных артерий в вертикальной позиции пациента на велоэргометре.

Стресс-ЭхоКГ, дополненную этапным измерением кровотока в левой почечной артерии, выполняли по стандартному протоколу в режиме ручного тарирования нагрузки в виде ступенчато возрастающей пробы с мощностью 25–50–75–100 Вт в вертикальном положении пациента по пять минут на каждой ступени.

Пробу прекращали при появлении ультразвуковых и/или ЭКГ-признаков коронарной недостаточности, а также при возникновении боли в грудной клетке, чрезмерной усталости, одышки, мышечного истощения. У пациентов без проявлений ИБС исследование останавливали в момент достижения субмаксимальной возрастной частоты сердечных сокращений (ЧСС) = $0.85 \times (220 - \text{возраст пациента})$ и/или систолического АД (САД) = 220 mmHg. Расчет пороговой мощности ВЭМ осуществляли по методу Т.В. Тавровской для субмаксимальных тестов [9] (для женщин – 1.4 Вт/кг, для мужчин – 2 Вт/кг массы тела). При этом нагрузка средней интенсивности соответствовала 70% данной расчетной величины. В каждом

случае определяли толерантность к физической нагрузке (ТФН).

Оценку локальной сократимости осуществляли в модифицированных для стресс-ЭхоКГ парастернальных короткоосевых сечениях ЛЖ при использовании дуплексного серошкального режима (двумерного и «анатомического» М-модального). В качестве основного критерия СКН признавали появление нарушений локальной сократимости ЛЖ (НЛС).

Стрессовое исследование сосудистой реактивности в устьевом сегменте левой почечной артерии осуществлялось при периодическом перемещении апертуры датчика из левой трансторакальной в левую транслюмбальную позицию и включало исходное измерение, а также этапный нагрузочный мониторинг пиковой скорости кровотока (V_{ps} -ПА) с расчетом индекса периферического сопротивления (RI-ПА). Проводили сканирование почечного артериального русла с использованием цветового доплеровского картирования для пространственной сосудистой ориентации, далее использовали спектральный режим с коррекцией угла инсонации 20° для выполнения обозначенных измерений [10]. Нивелирование двигательных помех достигалось путем применения постоянно-волнового доплеровского режима, позволяющего в одной регистрации определять кровотоки на всем протяжении почечной артерии с захватом сегментарных разветвлений.

Аппаратный комплекс включал в себя ультразвуковой сканер GE Healthcare VIVID E9 (США) с интегрированными кардиологическими и коронарными программами, оснащенный электронно-фазированным секторным датчиком M5S, а также компьютерный электрокардиограф Альтон-06 (Россия). Все приборы были внедрены в рабочую станцию, дополненную персональным компьютером, адаптированным для регистрации и обработки сигналов от диагностических приборов.

Права пациентов были обеспечены информационным и юридическим сопровождением диагностических процедур, включающим проведение разъяснений сути метода с документальным оформлением формуляра информированного согласия, составленного в соответствии с Хельсинкской декларацией ВМА для медико-биологических исследований.

Обработку статистического материала выполняли с использованием пакета программ MedCalc (Бельгия). Для преодоления возможного математического искажения результатов, с учетом относительно малого количества переменных в группах, параметрические методы статистики использованы не были. Данные указывали с размахом выборок, медианами и межквартильными диапазонами в формате (Me [QI–QIII]), где Me – медиана, QI и QIII – первая и третья квартиль соответственно. Межгрупповые различия независимых выборок анализировали непараметрическим методом Манна – Уитни. Для каждого случая рассчитывали уровень статистической значимости (p), а нулевые гипотезы отвергали при $p < 0.05$.

Диагностическую надежность стресс-ЭхоКГ в выявлении коронарной недостаточности вычисляли в процессе ROC-анализа с определением чувствительности, специфичности и диагностической точности по стандартным формулам. Значения указывали с доверительными интервалами (ДИ).

Результаты

Велоэргометрическая стресс-ЭхоКГ была выполнена на всем пациентам, но в пяти случаях проба не была доведена до диагностических критериев. Клинически значимых осложнений нагрузочных тестов с необходимостью медикаментозного лечения или неотложных медицинских манипуляций не было ни в одном эпизоде. Вместе с тем в 19 наблюдениях были зарегистрированы «малые» аритмические осложнения, которые спонтанно проходили после окончания ВЭМ. К их числу относилась редкая суправентрикулярная или желудочковая экстрасистолия.

В процессе выполнения ВЭМ у каждого пациента закономерно увеличивались показатели центральной гемодинамики: ЧСС, САД и двойное произведение (ДП).

В группе больных ИБС ЧСС увеличилась на 63% [54–67], САД – на 31% [27–34], а ДП – на 116% [105–117]. В группе условно здоровых ЧСС возросла на 93% [88–96], САД – на 38% [35–40], а ДП – на 167% [155–173]. Резервные возможности сердечно-сосудистой системы в группе больных ИБС оказались закономерно ниже, чем в группе условно здоровых, ЧСС и ДП на пике нагрузки статистически достоверно отличались ($p < 0.001$ и $p = 0.03$ соответственно). Коронарная недостаточность ограничивала нагрузочный рост параметров центральной гемодинамики. Так, в 17 (35%) случаях ВЭМ пришлось прекращать через 10 минут (ТФН = 50 Вт), в 19 (38%) случаях – через 15 минут (ТФН = 75 Вт) и лишь 13 (27%) пациентов прошли все четыре ступени исследования (ТФН = 100 Вт).

Основным диагностическим критерием ИБС при проведении стресс-ЭхоКГ признавали регистрацию нарушений локальной сократимости миокарда ЛЖ. Помимо классической гипокинезии в качестве эквивалента ишемии признавали и альтернативный признак нарушения перфузии – высокоамплитудные постсистолические утолщения (рис. 1).

В общей совокупности пациентов гипокинезия на пике ВЭМ появилась у 15 обследуемых лиц, причем в 10 случаях она распространялась на регионы компетенции ПНА (передние, переднесептальные и апикальные сегменты), а в пяти – на регионы ЛЖ, кровоснабжаемые ПрКА (задние, заднесептальные сегменты). Высокоамплитудные ишемические постсистолические утолщения были зарегистрированы у 25 пациентов и распространялись на регионы ПНА у 22 человек, а на регионы ПрКА – у трех обследуемых лиц. Таким образом, те или иные нарушения локальной систолической функции миокарда в процессе стрессового исследования были выявлены у 40 человек, из которых 38 имели гемодинамически значимые стенозы коронарной артерии (77% группы больных ИБС), два пациента характеризовались ангиографически неизмененными артериями (4% группы условно здоровых).

Анализ диагностической надежности стресс-ЭхоКГ по критерию НЛС продемонстрировал следующие показатели: чувствительность метода составила 77% (95% ДИ 64–88), специфичность – 96%. Диагностическая точность метода оказалась равной 86% (95% ДИ 77–90).

Дополнительное измерение кровотока в почечной артерии удалось выполнить всем пациентам обеих групп, в процессе регистрации доплеровского спектра не было отмечено затруднений и дополнительных временных

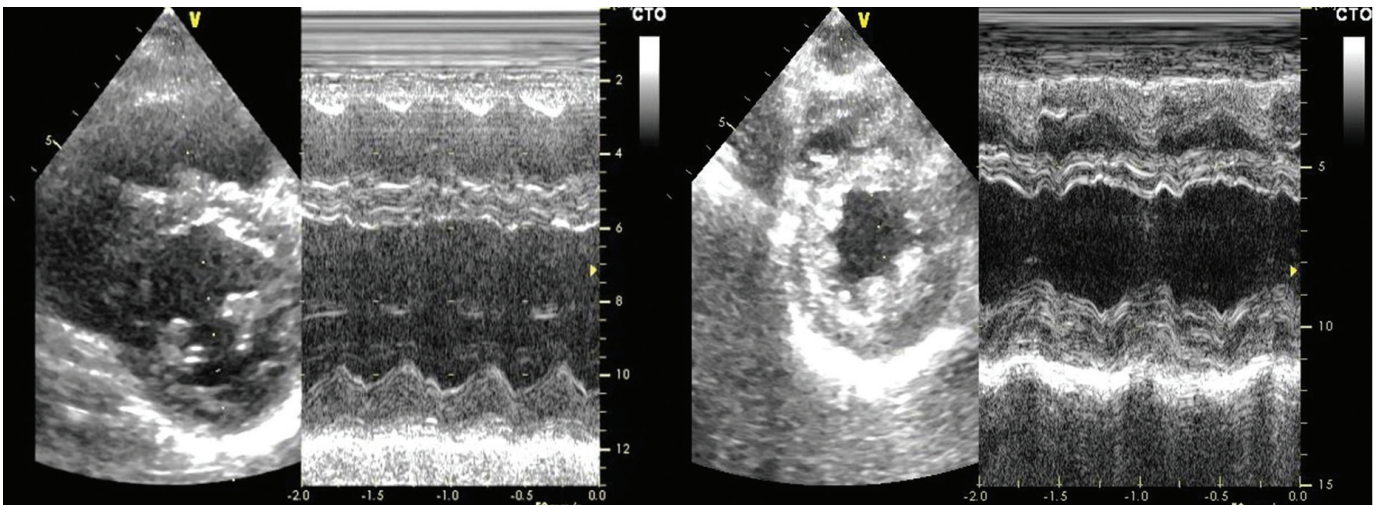


Рис. 1. Гипокинезия переднесептального сегмента (слева) и постсистолические утолщения переднесептального сегмента (справа), зарегистрированные в процессе стресс-ЭхоКГ, у пациентов с гемодинамически значимыми стенозами ПНА

Таблица 1

Нагрузочное изменение пиковой скорости кровотока и резистентного индекса в левой почечной артерии у здоровых добровольцев и пациентов с верифицированной ИБС в виде Ме [LQ–UQ] (* $p < 0.005$)

Подгруппа	Нагрузка	Покой		ВЭМ 50 Вт		ВЭМ 75 Вт	
		V _{ps} , см/с	RI	V _{ps} , см/с	RI	V _{ps} , см/с	RI
Условно здоровые, n = 48		72 [67–78]	0.62 [0.58–0.62]	75* [69–80]	0.60 [0.57–0.63]	92* [69–80]	0.64* [0.57–0.63]
Δ% от исходного		-	-	+11%*	-3%	+27%*	+3%
ИБС + артериальная гипертензия, n = 32		67 [65–71]	0.68 [0.66–0.72]	70 [76–83]	0.70 [0.68–0.73]	73 [69–76]	0.72 [0.68–0.74]
Δ% от исходного		-	-	+4%	+6%	+9%	+7%
ИБС + сахарный диабет, n = 8		64 [60–68]	0.72 [0.71–0.74]	66 [64–70]	0.75 [0.72–0.75]	70 [67–72]	0.77 [0.72–0.75]
Δ% от исходного		-	-	+4%	+3%	+10%	+7%
ИБС без артериальной гипертензии и сахарного диабета, n = 9		68 [65–70]	0.69 [0.67–0.72]	73 [70–77]	0.72 [0.68–0.74]	78 [85–92]	0.73 [0.72–0.75]
Δ% от исходного		-	-	+7%	+4%	+15%	+6%

затрат. Для преодоления двигательных-дыхательных помех в конце каждой ступени вращения педалей было кратковременно приостановлено.

Исходные значения V_{ps}-ПА и RI-ПА достоверно не различались, в группе больных ИБС они регистрировались в пределах 60–74 см/с (70.3 [67–72]) и 0.58–0.74 см/с (0.7 [0.62–0.73]) соответственно. В группе условно здоровых – в диапазоне 59–76 см/с (Ме 72 [67–78]) и 0.6–0.7 см/с (0.62 [0.58–0.62]).

С учетом ограниченной ТФН у пациентов первой группы максимальные нагрузочные параметры почечного кровотока оценивали в процессе ВЭМ средней интенсивности, которая в подавляющем большинстве наблюдений оказалась равной 75 Вт.

На обозначенном этапе пробы V_{ps}-ПА у пациентов основной группы измеряли с размахом 69–82 см/с (74.5 [70–78]), а в группе контроля – 80–97 см/с (88.2 [84–94]), при этом различия оказались статистически достоверными ($p < 0.0001$). Значения процентного увеличения V_{ps}-ПА по отношению к исходным оказались равными 12% [2.8–11] и 27% [21.4–37] соответственно.

Закономерно возросло и периферическое сосудистое сопротивление: RI-ПА в основной группе вычисляли в пределах 0.65–0.77 (0.75 [0.79–0.85]), значение составило 7% [5.8–7.7], а в группе условно здоровых добровольцев – в пределах 0.55–0.7 (0.64 [0.57–0.63]), и значение соста-

вило 3% [2.5–4.2]. Нагрузочное снижение кортикальной почечной перфузии в группе контроля оказалось менее выраженным ($p = 0.0035$).

Среди пациентов первой группы с ИБС наблюдались различия в нагрузочном изменении ренального кровотока в зависимости от сопутствующих заболеваний – артериальной гипертензии и сахарного диабета (табл. 1).

Типичные примеры «ригидной» и «физиологической» нефрососудистой реактивности в ответ на ВЭМ средней интенсивности представлены на рис. 2.

В результате анализа нагрузочных показателей V_{ps}-ПА и RI-ПА, а также степени их изменения от региона появления признаков ишемии миокарда соответственно бассейнам кровоснабжения ПрКА или ПНА взаимосвязности не выявлено. У двоих пациентов из группы условно здоровых с ложноположительными результатами стресс-ЭхоКГ нагрузочная вазомоторная реактивность характеризовалась удовлетворительными показателями V_{ps}-ПА и RI-ПА и не отличалась от остальных.

Интересным наблюдением оказалось снижение почечного кровотока в процессе нагрузок высокой интенсивности (более 70% субмаксимальной мощности) в группе условно здоровых пациентов. На этапе ВЭМ 100 Вт и более, на пике возрастной физической нагрузки с гендерно-антропометрической поправкой (1.4 Вт/кг массы тела для женщин и 2 Вт/кг для мужчин)

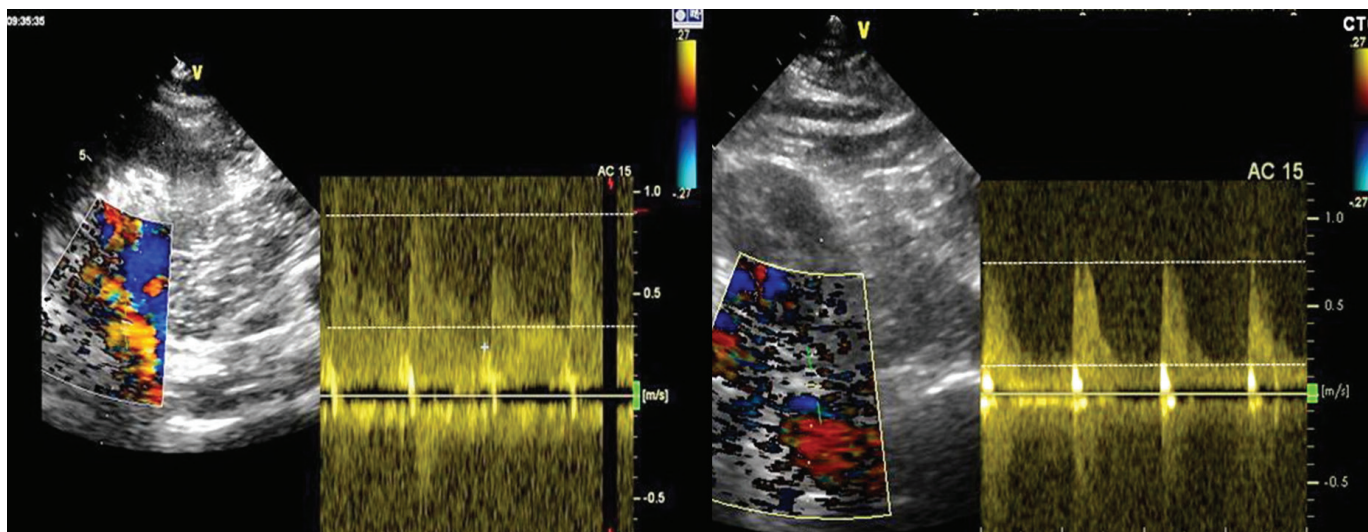


Рис. 2. Физиологический тип нефрососудистого кровотока (слева Vps-ПА 90 см/с; RI-ПА 0.62) и ригидный тип нефрососудистого кровотока (справа Vps-ПА 75 см/с; RI-ПА 0.7) в ответ на нагрузку средней интенсивности, соответствующей ВЭМ 75 Вт

показатель Vps-ПА снизился и находился в диапазоне 70–82 см/с (74 [72–80]), приближаясь к исходным значениям, зарегистрированным в состоянии покоя. Кроме этого, возрастало сосудистое сопротивление, показатель RI-ПА был в пределах 0.7–0.78 (0.72 [0.7–0.76]), в некоторых наблюдениях максимальная нагрузочная сосудистая резистентность оказалась чуть выше исходной. Скорее всего, данный феномен был обусловлен децентрализацией кровообращения и перераспределением объема циркулирующей крови в пользу интенсивно работающей двигательной-дыхательной скелетной мускулатуры с уменьшением внутриорганной перфузии.

Обсуждение

Ультразвуковые методы идентификации скрытых форм ИБС широко применяются в клинической практике на разных этапах диагностического поиска эквивалентов данного социально значимого заболевания. Стресс-ЭхоКГ позиционируется в качестве недорогого способа раннего выявления ишемии миокарда, который может быть использован в условиях малобюджетных учреждений, до направления на томографическую, радиоизотопную или рентгеноконтрастную верификацию заболевания [1, 2].

В процессе исследования подтвердилась диагностическая значимость мозаичной гипокинезии в качестве одного из основных маркеров СКН, однако были выявлены и альтернативные формы ишемической дисфункции миокарда в начальной стадии коронарной недостаточности. Наряду с классической гипокинезией, высокоамплитудные постсистолические утолщения появлялись в ишемизированных участках сердечной мышцы, подверженных привязывающему движению соседних нормально функционирующих сегментов миокарда. Чувствительность и специфичность, рассчитанные в процессе исследования, соответствовали таковым в литературных источниках [11].

Общезвестно, что заболевания сердечно-сосудистой системы зачастую обусловлены комплексным поражением артериального русла. Системный атеро-

склероз нередко сочетается с гипертоническим ремоделированием артериол, медиасклерозом или диабетической ангиопатией. Помимо значимых стенозов, нагрузочное проявление коронарной недостаточности базируется и на лимитированной вазомоторной функции, ограничивающей резервную растяжимость сосудистых стенок, необходимую для адекватного увеличения объемного кровотока в стрессовых условиях.

Целесообразность дополнения стресс-ЭхоКГ исследованием кровотока в почечной артерии обусловлена возможностью оценки общей внутриорганной сосудодвигательной функции в ответ на физическую нагрузку для дефиниции системности сердечно-сосудистого поражения. В практическом применении это становится актуальным в процессе диагностики ИБС у пациентов с артериальной гипертонией и/или сахарным диабетом для дополнительного выявления ригидной сосудистой реакции на стресс. Выбор нефрососудистого сегмента основан на первостепенной подверженности почечного артериального русла вышеуказанным морфофункциональным изменениям и относительной простоте регистрации кровотока при проведении вертикальной ВЭМ без усложнения и пролонгации стресс-ЭхоКГ, что и подтвердилось в проведенном исследовании.

Следует подчеркнуть, что нагрузочное изучение почечного кровообращения осуществлялось и в более ранних работах, при этом одни авторы наблюдали снижение пиковой скорости в сегментарных артериях на высоте интенсивных нагрузок [12], а другие регистрировали неизменность скоростно-резистентных параметров [13]. При этом у пациентов с заболеваниями периферических сосудов, в отличие от здоровых лиц, всегда наблюдалось существенное нагрузочное снижение почечной перфузии [14].

Дискуссионным остается вопрос о трансформации ренального кровообращения при физических нагрузках средней интенсивности и ограниченной продолжительности. Настоящее исследование продемонстрировало, что у здорового человека в процессе ортопозицион-

ной вело-стрессовой нагрузки, соответствующей 70% субмаксимальной пороговой мощности [9], пиковая скорость почечного кровотока не снижается, а заметно возрастает не менее чем на 20% от исходных значений. Данное преобразование сопровождается несущественным повышением периферического сосудистого сопротивления, но не более чем на 5% от исходных значений. У пациентов с системным артериосклерозом, артериальной гипертонией или сахарным диабетом в аналогичных условиях наблюдаются малый нагрузочный рост пиковой скорости кровотока (менее 20%) и более выраженное повышение периферического сосудистого сопротивления (более 5%), что указывает на ригидный тип сосудистой реактивности. Объяснением данному наблюдению может служить то, что в вертикальном положении нагрузочный рост пиковой скорости кровотока в аорторенальных соустьях здорового человека обусловлен увеличением перфузии надпочечников, повышением системного давления в абдоминальном отделе аорты, в том числе и из-за вертикального положения человека, а также отсутствием симпатoadrenalного внутриорганного ангиоспазма в раннюю нагрузочную фазу. У пациентов с патологией периферического артериального русла при малых и средних нагрузках присутствует вазомоторная ригидность, лимитирующая обозначенную трансформацию кровотока.

При нагрузках высокой интенсивности у здоровых лиц (более 70% субмаксимальной пороговой мощности) в процессе ВЭМ 100 Вт и более наблюдается закономерное снижение почечной перфузии в пользу мышечного кровоснабжения, что было продемонстрировано в настоящем исследовании и согласуется с литературными данными [12].

Заключение

Дополнение стресс-ЭхоКГ нагрузочным измерением кровотока в почечных артериях не усложняет и не пролонгирует диагностическую процедуру, но позволяет оценить общую внутриорганную вазомоторную нагрузочную реактивность и является целесообразным для определения системности сердечно-сосудистого поражения у пациентов с ИБС. Ригидный тип нагрузочной нефрососудистой реактивности характеризуется малым ростом пиковой скорости кровотока (менее 20%) и выраженным повышением индекса резистентности (более 5%) на этапе ВЭМ, соответствующей 70% субмаксимальной пороговой мощности.

Литература

1. Knuuti J. et al. for the ESC Scientific Document Group 2019 ESC guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes // *Eur. Heart J.* – 2020. – V. 41. – P. 407–477. DOI: 10.1093/eurheartj/ehz425.
2. Picano E. et al. The new clinical standard of integrated quadruple stress echocardiography with ABCD protocol // *Cardiovasc. Ultrasound.* – 2018. – V. 16. – P. 22–34. DOI: 10.1186/s12947-018-0141-z.
3. Picano E. et al. Integrated quadruple stress echocardiography // *Minerva Cardioangiol.* – 2019. – V. 67. – P. 330–339. DOI: 10.23736/S0026-4725.18.04691-1.

4. Scali M.C. et al. Stress Echo 2020 study group of the Italian Society of Echocardiography and Cardiovascular Imaging (SIECVI). Quality control of B-lines analysis in stress Echo 2020 // *Cardiovasc. Ultrasound.* – 2018. – V. 16. – P. 20–26. DOI: 10.1186/s12947-018-0138-7.
5. Zagatina A. et al. Role of coronary flow velocity in predicting adverse outcome in clinical practice // *Ultrasound Med. Biol.* – 2018. – V. 44. – P. 1402–1410. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2018.03.021.
6. Pellicori P. et al. Ultrasound imaging of congestion in heart failure: examinations beyond the heart // *Eur. J. Heart Fail.* – 2021. – V. 23. – P. 703–712. DOI: 10.1002/ejhf.2032.
7. Тривоженко А.Б. и др. Стресс-эхокардиография в определении инотропного резерва левого желудочка на этапах восстановительного лечения пациентов после коронарной хирургии // *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины.* – 2014. – Т. 29. – С. 57–62. [Trivozhenko A.B. et al. Stress-echocardiography in evaluation of left ventricular inotropic reserve at stages of medical rehabilitation in patients after coronary surgery // *The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine.* – 2014. – V. 29. – P. 57–62. In Russian]. DOI: 10.29001/2073-8552-2014-29-2-57-62.
8. Кобалава Ж.Д. и др. Современные рекомендации по артериальной гипертонии: согласованные и несогласованные позиции // *Рациональная фармакотерапия в кардиологии.* – 2019. – Т. 15. – С. 105–114. [Kobalava Z.D. et al. New guidelines on management of arterial hypertension: key similarities and differences // *Rational Pharmacotherapy in Cardiology.* – 2019. – V. 15. – P. 105–114. In Russian]. DOI: 10.20996/1819-6446-2019-15-1-105-114.
9. Тавровская Т.В. Велоэргометрия. Санкт-Петербург: ИНКАРТ, 2007. – 208 с. [Tavrovskaya T.V. *Veloergometriya.* St. Petersburg: INKART, 2007. – 208 p. In Russian].
10. AIUM practice guideline for the performance of native renal artery duplex sonography // *J. Ultrasound Med.* – 2013. – V. 32. – P. 1331–1340. DOI: 10.7863/ultra.32.7.1331.
11. Nasir Khan J. et al. Accuracy and prognostic value of physiologist-led stress echocardiography for coronary disease // *Heart Lung Circ.* – 2021. – V. 30. – P. 721–729. DOI: 10.1016/j.hlc.2020.09.933.
12. Rocha M.P. et al. Renal blood flow during exercise: understanding its measurement with Doppler ultrasound // *J. Appl. Physiol.* – 2023. – V. 134. – P. 1004–1010. DOI: 10.1152/jappphysiol.00392.2022. Epub 2023 Mar 9.
13. Kawakami S. et al. The moderate-intensity continuous exercise maintains renal blood flow and does not impair the renal function // *Physiological Reports.* – 2022. – V. 10. – P. e15420. DOI: 10.14814/phy2.15420.
14. Drew R.C. et al. Renal vasoconstriction is augmented during exercise in patients with peripheral arterial disease // *Physiological Reports.* – 2013. – V. 1. – P. e00154. DOI: 10.1002/phy2.154.