



DOI: 10.24835/1607-0763-2018-1-26-35

Методологические аспекты визуализации коронарных артерий при трансторакальной эхокардиографии

Агаева З.А., Багдасарян К.А.*

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России, Краснодар, Россия

Methodological aspects of visualization of coronary arteries with transthoracic echocardiography

Agayeva Z.A., Baghdasaryan K.B.*

Kuban State Medical University, Krasnodar, Russia

Трансторакальная эхокардиография, выполненная с помощью мультимодальных датчиков с поддержкой режима второй тканевой гармоники, является конкурентоспособным методом для визуализации магистральных коронарных артерий и позволяет качественно оценить спектр коронарного кровотока в них. Безусловно, у метода есть значительные ограничения, самой главной из которых является низкая пространственная разрешающая способность метода из-за небольшого акустического окна. Именно из-за этого трансторакальное исследование коронарных артерий, по всей видимости, не станет лидирующим методом анатомической реконструкции отдельно взятой коронарной артерии и тем более всего коронарного русла. Однако уникальностью и неоспоримым преимуществом данного метода является возможность неинвазивно оценить коронарный кровоток как однократно, так и в динамике.

Ключевые слова: трансторакальная эхокардиография, доплерография, магистральные коронарные артерии.

Ссылка для цитирования: Агаева З.А., Багдасарян К.А. Методологические аспекты визуализации коронарных артерий при трансторакальной эхокардиографии. *Медицинская визуализация*. 2018; 22 (1): 26–35. DOI: 10.24835/1607-0763-2018-1-26-35.

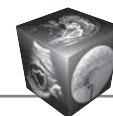
The transthoracic echocardiography made by multifrequency probes with support of the mode of the second harmonic imaging, is a competitive method for visualization of the main coronary arteries and allows to estimate coronary blood flow with high quality. Of course, the method has

considerable restrictions, most important of which is the low spatial resolution of a method, due to small acoustic window. Because of this the transthoracic visualization of coronary arteries perhaps will not become the leading method of anatomic reconstruction of separately taken coronary artery and especially all coronary arteries system. However uniqueness and indisputable advantage of this method is an opportunity to noninvasively estimate a coronary blood flow both once, and in dynamics.

Key words: transthoracic echocardiography, Doppler, main coronary arteries.

Recommended citation: Agayeva Z.A., Baghdasaryan K.B. Methodological aspects of visualization of coronary arteries with transthoracic echocardiography. *Medical Visualization*. 2018; 22 (1): 26–35. DOI: 10.24835/1607-0763-2018-1-26-35.

С момента внедрения в клиническую практику трансторакальной эхокардиографии (ТТЭхоКГ) исследование магистральных коронарных артерий (МКА) казалось очень заманчивым и привлекательным, учитывая, что исследование технически несложное и недорогое, а метод имеет хорошее временное разрешение, позволяющее длительно исследовать больного без лучевой нагрузки и побочных эффектов. Однако первые попытки визуализации МКА показали, что метод пригоден только для визуализации проксимальных отделов коронарных артерий в В-режиме, измерения их



диаметра, выявления аномалий отхождения коронарных артерий [1–3]. Получить же качественное цветное картирование и доплеровский сигнал удавалось только у детей, у взрослых пациентов с астеническим телосложением, с аномалиями коронарных артерий, артериовенозными фистулами и коронарными аневризмами благодаря выявлению либо расширенного участка артерии в В-режиме, либо высокоскоростного шунтирующего кровотока при доплерографии [4–8]. Причиной этого были существующие тогда стандартные моночастотные ультразвуковые датчики и ограниченные опции, с помощью которых визуализировали сердце. В отличие от ТТЭхоКГ, хорошую визуализацию проксимальных сегментов МКА в режиме цветowego доплеровского картирования (ЦДК) и качественный доплеровский сигнал получали при чреспищеводной эхокардиографии (ЧПЭхоКГ) благодаря близости расположения датчика к проксимальным сегментам МКА [9–12]. Однако качественная визуализация только проксимальными сегментами и ограничивалась [11, 13, 14]. Учитывая еще инвазивность и временное ограничение метода, ЧПЭхоКГ не рассматривалась как рутинный метод визуализации МКА. С этой точки зрения преимущество ТТЭхоКГ было неоспоримо. Было понятно, что сложности, возникающие при трансторакальной ультразвуковой визуализации МКА, обусловлены факторами, которые можно разделить на две основные группы. Первая группа факторов – это анатомические и физиологические особенности коронарных артерий. К ним можно отнести непрямолинейный ход коронарных артерий, их малый диаметр, подвижность артерий во время сокращения сердца и низкие скорости коронарного кровотока [8, 15–17]. Вторая группа – это технические ограничения ТТЭхоКГ. К ним можно отнести глубокое расположение коронарных артерий по отношению к ультразвуковому датчику, низкую чувствительность метода при обнаружении низких скоростей кровотока и низкую пространственную разрешающую способность, связанную с маленькими размерами окон локации [8, 16].

Естественно, повлиять на факторы из первой группы невозможно. Единственным путем развития оставалось техническое усовершенствование ультразвукового оборудования, способное повысить разрешающие способности метода при оценке структур, находящихся отдаленно от датчика, а также чувствительности доплеровских сигналов при обнаружении низкоскоростного кровотока. Такое направление развития привело к появлению новых высокочастотных трансторакальных ультразвуковых датчиков, апертура которых была намного меньше предыдущих. Также появились современные эхоконтрастные препараты, усиливающие интенсивность отраженного доплеровского сигнала. Стало возможным получение изображения коронарного кровотока высокого качества, но, к сожалению, только в ближней зоне сканирования, то есть в средней и дистальной трети передней нисходящей артерии (ПНА) [18–24]. Существенного улучшения визуализации других коронарных артерий, которые расположены глубже, получить не удалось из-за низкой проникающей способности высокочастотных ультразвуковых колебаний вследствие малой длины волны. Следующим этапом развития стало внедрение низкочастотных широкополосных датчиков в сочетании с режимом второй тканевой гармоники. После применения таких датчиков стали появляться сообщения об успешной визуализации ствола левой коронарной артерии (ЛКА), проксимальной трети (пр/3) ПНА, огибающей артерии (ОА) и правой коронарной артерии (ПКА) [18, 25–29]. Однако надо отметить, что большинство исследований наших иностранных коллег по трансторакальной визуализации МКА с помощью мультимодальных датчиков выполнялось с использованием эхоконтрастных препаратов для улучшения визуализации [29–32].

В России же исследования выполняли без применения эхоконтрастного усиления из-за того, что эхоконтрастные препараты до недавнего времени не были зарегистрированы [33].

Сейчас для визуализации коронарных артерий подходят серийные мультимодальные датчики с ба-

Для корреспонденции*: Багдасарян Карапет Акопович – 350063 Краснодар, ул. Седина, 4. Тел.: 8-961-507-97-44. E-mail: kbagdasaryan.83@mail.ru

Агаева Зоя Абуевна – доктор мед. наук, профессор кафедры лучевой диагностики, лучевой терапии ФГБОУ ВО “Кубанский государственный медицинский университет” Минздрава России, Краснодар.

Багдасарян Карапет Акопович – аспирант кафедры лучевой диагностики, лучевой терапии ФГБОУ ВО “Кубанский государственный медицинский университет” Минздрава России, Краснодар.

Contact*: Karapet A. Baghdasaryan – 350063 Krasnodar, Russia, Sedina str., 4. Phone: 8-961-507-97-44. E-mail: kbagdasaryan.83@mail.ru

Zoya A. Agaeva – doct. of med. sci., professor of chair of radiology methods of diagnostics and treatment of Kuban State Medical University.

Karapet A. Baghdasaryan – postgraduate (aspirant) of chair of radiology methods of diagnostics and treatment of Kuban State Medical University.



зовой частотой сканирования 1,5–4,5 МГц. При наличии используют заводские опции для визуализации коронарных артерий, основанные на гармоническом усилении низкоскоростных сигналов коронарного кровотока. В таком случае широкая полоса низких ультразвуковых частот (1,5–4,5 МГц) обеспечивает хорошую проникающую способность, что позволяет получить изображения структур, расположенных как поверхностно, так и глубоко. Это качество очень ценно для визуализации ОА и ПКА. Применение же режима второй тканевой гармоники позволяет принимать отраженный ультразвуковой сигнал в диапазоне высоких частот (6,8–8,6 МГц), что, несомненно, улучшает качество изображения структур, расположенных глубоко от ультразвукового датчика. Именно благодаря этим опциям в нашей стране частота визуализации коронарных артерий достаточно близка к показателям, сообщаемым в работах иностранных авторов, которые применяют высокочастотные или мультисигментные датчики и эхоконтрастное усиление [29–33].

Применение серийных мультисигментных датчиков, способных работать в режиме второй тканевой гармоники, вместо высокочастотных и моночастотных датчиков, безусловно, повысило интерес к изучению коронарных артерий при помощи метода ТТЭхоКГ. Ведь получается, что исследование коронарного кровотока можно проводить не как отдельное исследование, а можно сочетать ее со стандартной эхокардиографией. При этом не надо будет менять датчик или опции для визуализации в процессе исследования. Кроме того, в этом случае не надо применять дорогостоящие контрастные вещества и увеличивать время исследования установкой периферических катетеров для их введения.

Методология визуализации МКА при ТТЭхоКГ

До настоящего времени нет единого мнения о методике исследования коронарных артерий из трансторакального доступа. Но в одном все исследователи сходятся – надо использовать не только стандартные доступы, но и все возможные промежуточные доступы и проекции сердца в положении больного как на левом боку, так и на спине. Начинать поиск коронарных артерий большинство авторов предлагают с режима ЦДК [8, 16, 29, 30, 33], используя опрашиваемый объем небольшого размера. Некоторые авторы считают правильнее всегда начинать исследование с В-режима [34, 35].

Наилучшим подходом, вероятно, является подход, при котором учитывается сегмент коронарных артерий при выборе режима начального

поиска. Так, при поиске ствола ЛКА, пр/З ПНА и ПКА начинать следует с В-режима, а затем подключать ЦДК. Ведь в этом случае возможно оценить анатомию устьев, диаметр артерий и характер стенки. Также можно будет оценить направление, тип и фазово-скоростные характеристики коронарного кровотока. То же нельзя сказать про остальные сегменты коронарных артерий, так как средний диаметр этих сегментов очень мал, а эхогенность стенки не позволяет отличить ее от миокарда. Поэтому вероятность обнаружения этих сегментов в В-режиме очень мала. Следовательно, чтобы не терять лишнего времени, диагностический процесс исследования при изучении средних и дистальных сегментов коронарных артерий целесообразно начинать, используя режим ЦДК. При этом надо помнить, что необоснованно большой размер опрашиваемого окна значительно снижает чувствительности исследования, а слишком маленький затрудняет поиск из-за того, что сосуд может не попасть в окно опроса, тем более, если сосуд идет по нестандартной траектории. Кроме размера опрашиваемого окна, для успешной визуализации артерий в режиме ЦДК необходима также правильная постановка предела Найквиста. Оптимальные значения предела Найквиста не должно превышать 30 см/с, в среднем составляя до 17–20 см/с [33]. Выбор такого интервала связан с тем, что скорости коронарного кровотока, по данным интракоронарных исследований, в среднем составляют от 20 до 30 см/с [36–39]. Если использовать более высокий предел Найквиста, то получить цветное изображение артерий с низкоскоростным кровотоком в режиме ЦДК не удастся, сделав заведомо неудачным поиск сегментов, которые нельзя визуализировать в В-режиме. При необходимости также надо уменьшить общую интенсивность сигнала опрашиваемого цветового окна для уменьшения артефактов движения миокарда.

Единственный параметр, на который сильно не повлиял технический прогресс, это пространственная разрешающая способность метода ТТЭхоКГ. Несмотря на модернизированные ультразвуковые датчики, которые позволяют оценить низкие скорости кровотока, пространственное разрешение не поменялось из-за невозможности повлиять на окна локации, что связано с размерами межреберных промежутков.

Как было сказано выше, коронарные артерии имеют непрямолинейный ход и могут менять свой ход сразу в трех плоскостях. А направление ультразвукового луча получается поменять одномоментно только в одной плоскости. Отсюда понятно, что даже при получении качественной



визуализации сегмента коронарных артерий ее визуализация практически всегда будет фрагментарной, и оценить ее ход на большом протяжении невозможно. Протяженность, на которой можно оценить сегмент коронарной артерии, в среднем составляет 1,5–3 см. Введение эхоконтрастных препаратов увеличивает длину визуализированного фрагмента [29]. Но все равно получить качественную визуализацию в режиме ЦДК целого сегмента одной артерии или двух рядом расположенных сегментов на одном изображении возможно только у небольшого количества больных [33]. Отсюда возникает очень большая трудность. Зачастую очень трудно идентифицировать сегмент коронарной артерии, полученный на изображении. Ультразвуковой поиск каждого сегмента МКА легче всего проводить, опираясь на легко определяемые анатомические ориентиры сердца, которые можно визуализировать из трансторакального доступа [34]. К ним относят синусы Вальсальвы, межжелудочковые борозды, папиллярные мышцы. Соблюдение этих рекомендаций позволяет намного снизить ошибки при обозначении найденного сегмента коронарных артерий. Из всех коронарных артерий самую четкую “привязку” к визуализируемым ориентирам имеют ПНА и задняя межжелудочковая артерия (ЗМЖА) (чаще являющаяся дистальной третью (д/3) ПКА). Этими ориентирами являются передняя и задняя межжелудочковые борозды соответственно. Именно поэтому ПНА и ЗМЖА показывают самый высокий процент успешной визуализации и правильной идентификации. Кроме того, их визуализация требует меньше времени по сравнению с другими сегментами. Зачастую можно столкнуться с ситуацией, когда имеются анатомические особенности строения коронарного русла или нетипичное функционирование магистральных артерий и артерий второго порядка (например, крупная медианная ветвь или окклюзия основных стволов магистральных артерий). Поэтому недостаточно визуализировать сегмент МКА, надо попытаться отследить артерию на протяжении, предполагая ее ход, меняя плоскости и точки сканирования. Суммируя, можно сказать, что лучше всего сочетать эти два подхода: сначала для быстрого поиска интересующего сегмента коронарных артерий следует взять за ориентир известную анатомическую структуру сердца, с которой он “связан”, а после обнаружения для точной идентификации отследить этот сегмент на максимально возможном протяжении, стараясь обнаружить устье или соседние сегменты. Такой подход позволит намного снизить ошибки при визуализации МКА, особенно при наличии особенностей строения коронарного русла.

Учитывая все вышесказанное, не удивительно, что при ТТЭхоКГ лучше всего визуализируются ствол ЛКА и ПНА [23, 28, 40]. Причина ясна, ведь при трансторакальном исследовании в большинстве проекций сосуд находится ближе к датчику по сравнению с другими артериями. Факт нахождения ее в ближней зоне позволяет получать изображение в диапазоне высокой частоты сканирования (до 6,8–8,6 МГц с учетом применения второй тканевой гармоники). Как известно, ПНА проходит в передней межжелудочковой борозде, что является четким анатомическим ориентиром для начала поиска, а угол между длинной осью сосуда и ультразвуковым лучом в большинстве проекций не превышает 30°. Кроме того, только для ПНА имеются четкие анатомические ориентиры, с помощью которых можно провести деление ПНА на сегменты (устье первой диагональной артерии (ДА) и передняя латеральная папиллярная мышца). Такие же четкие анатомические ориентиры есть и для ствола ЛКА. Она отходит от левого коронарного синуса Вальсальвы и заканчивается бифуркацией на ПНА и ОА. Однако при трансторакальном исследовании ствол ЛКА обнаруживается реже, чем каждый из сегментов ПНА, что связано с более глубоким расположением ствола ЛКА и менее оптимальным расположением по отношению к ультразвуковому лучу в большинстве проекций. От этого страдает качество прокрашивания сосуда в режиме ЦДК.

Кроме ствола ЛКА и ПНА, при трансторакальном исследовании у большинства больных можно визуализировать ЗМЖА (чаще д/3 ПКА), которая проходит в задней межжелудочковой борозде. Ход сосуда, как и при ПНА, в большинстве проекций близок к направлению ультразвукового луча, вследствие чего получают равномерное прокрашивание в режиме ЦДК и качественный доплеровский спектр кровотока.

Относительно благоприятный анатомический ход для ультразвукового исследования из трансторакального доступа также имеет I ветвь тупого края (ВТК), которую можно условно считать д/3 ОА. В двух работах японских авторов, опубликованных в последние годы, сообщалось, что частота успешного обнаружения первой ВТК соответствует 72–73% [22, 41]. Однако в исследованиях отечественных авторов частота получения изображения I ВТК составляет только 29% [33] из-за того, что сосуд проходит по боковой стенке левого желудочка, а визуализация самой боковой стенки левого желудочка обычно недостаточно хорошего качества. Такие различия в частотах, скорее всего, обусловлены конституциональными особенностями исследуемых пациентов. Низкие ростовесовые



показатели пациентов в японской (азиатской) выборке предполагают более близкое расположение всех сегментов коронарных артерий к ультразвуковому датчику, что, естественно, позволяет получать изображение коронарных артерий в В-режиме и режиме ЦДК с помощью высокочастотного датчика.

По данным отечественных авторов, обнаружить пр/З ПКА при ТТЭхоКГ в В-режиме получается почти у всех больных, однако в режиме ЦДК получить качественный доплеровский сигнал получается только у 1/3 пациентов, а доплеровский спектр в импульсно-волновом режиме еще реже [33]. Объяснить это можно тем, что в основных проекциях угол между направлением ультразвукового луча и длинной осью сосуда обычно превышает 60°. Это приводит к тому, что качественная регистрация спектра кровотока либо невозможна, либо имеется много артефактов спектра, связанных со смещением метки контрольного объема импульсно-волнового доплера из просвета сосуда. Наиболее далеко расположенные от датчика сегменты МКА, которыми являются пр/З, средняя треть (ср/З) ОА и ср/З ПКА, удается обнаружить лишь в небольшом проценте случаев. Кроме расстояния, исследование этих сегментов МКА затруднено еще и отсутствием четких анатомических ориентиров, позволяющих разграничить пр/З и ср/З ОА и разделить на сегменты ПКА.

Таким образом, ТТЭхоКГ представляет собой метод исследования для быстрой, неинвазивной и при необходимости многократной визуализации МКА и оценки коронарной артериальной гемодинамики, в том числе в дистальных отделах МКА.

Факторы, влияющие на визуализацию МКА при ТТЭхоКГ

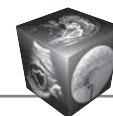
Исследования показали, что при визуализации ствола ЛКА и ПНА не имеют значение масса тела пациента и индекс массы тела [33]. Даже наоборот, у лиц с гиперстенической конституцией визуализация ствола ЛКА и пр/З ПКА в некоторых случаях лучше, чем у пациентов с нормостенической или астенической конституцией. Но у этих пациентов увеличение толщины подкожного и околосердечного жира значительно снижало частоту визуализации ОА и дистальных отделов ПКА, которые, как сказано выше, расположены на наибольшем расстоянии от передней стенки грудной клетки. Некоторые авторы считают, что вероятность качественной визуализации ОА при ТТЭхоКГ у лиц с ожирением настолько мала, что поиск ОА у пациентов данной группы считается нецелесообразным [33].

Считается, что тип коронарного кровообращения и наличие атеросклеротических поражений коронарного русла могут повлиять на частоту успешной визуализации той или иной артерии (из-за ускорения или перераспределения кровотока в основных ветвях и коллатералях коронарных артерий). Некоторые авторы сообщают о разной частоте визуализации пр/З и ср/З ПКА и пр/З и ср/З ОА при различных типах коронарного кровообращения. Утверждается, что при левом типе коронарного кровообращения более успешно визуализировались пр/З и ср/З ОА, а при правом типе коронарного кровообращения – пр/З и ср/З ПКА [28]. Некоторые же исследователи сообщают, что в своих исследованиях не получили статистически значимую разницу обнаружения МКА в зависимости от вышеуказанных факторов [28].

Было оценено и влияние частоты сердечных сокращений на частоту визуализации различных сегментов МКА. Большинство исследователей показали, что визуализация д/З ПНА оказывается более успешной у пациентов с брадикардией по сравнению с нормо- и тахикардией [28, 33]. Этому есть объяснение, ведь при брадикардии увеличивается продолжительность диастолы, а коронарный кровоток преимущественно диастолический, что и способствует более длительному и равномерному прокрашиванию артерии в режиме ЦДК. Подобная закономерность отмечается и при визуализации дистальных отделов ПКА и ОА.

Возможные ошибки при визуализации МКА при ТТЭхоКГ

Для того чтобы понять основные ошибки, возникающие при трансторакальном исследовании МКА, еще раз вспомним факторы, ограничивающие возможности этого метода. Из технических причин самая значимая связана с маленькими размерами ультразвуковых окон (почти все проекции из межреберного доступа), что приводит к снижению пространственной разрешающей способности метода и как следствие к фрагментарной визуализации сегментов артерий. Из анатомически обусловленных причин следует выделить наличие различных анатомических особенностей строения коронарного русла и отсутствие четкого соотношения каждой из артерий с известными анатомическими ориентирами (исключением являются ПНА и ЗМЖА). Учитывая эти обстоятельства, надо всегда с осторожностью подходить к идентификации сегментов коронарных артерий. Надо помнить, что некоторые крупные ветви (промежуточная ветвь, диагональные ветви, ветви тупого края и ветви острого края) иногда ошибочно могут идентифицироваться как магистральные



артерии. Чаще всего эта ошибка происходит в случаях, когда магистральная артерия (чаще всего ПНА) окклюзирована, а ветви магистральных артерий из-за принятия на себя всей нагрузки увеличиваются в диаметре. Помочь в таких случаях может принцип пошаговой визуализации ПНА. Артерию надо найти в передней межжелудочковой борозде и попытаться визуализировать ее на всем протяжении. Проксимально надо постараться достичь уровня ствола ЛКА, а дистально – верхушки ЛЖ. При исследовании надо постараться не прерывать визуализацию сосуда на всем протяжении. Если визуализируемый фрагмент является не ПНА, а ветвью второго порядка, она не будет иметь прямой связи со стволом ЛКА или д/З ПНА, или с обеими [33].

Аналогичная ситуация может возникнуть и в случаях, когда I и II ВТК идентифицируются как ЗМЖА, так как анатомически ход ВТК параллелен ходу ЗМЖА, а расстояние между ними небольшое. Дифференциально-диагностическая тактика аналогична таковой с ПНА (отслеживание сосуда на всем протяжении).

Нередко при трансторакальном исследовании МКА создаются ситуации, при которых необходимо отличить тот или иной сегмент коронарной артерии не от других сегментов коронарных артерий, а от структур, не относящихся к системе коронарных артерий. Чаще всего это внутренняя грудная артерия (ВГА), средняя вена сердца и перикардиальная жидкость. Рассмотрим эти ситуации отдельно.

ВГА обычно приходится дифференцировать со средним или дистальным сегментом ПНА. Помогает знание спектра кровотока в ВГА и в коронарных артериях в режиме импульсно-волнового доплера. В ВГА спектр имеет доминирующую систолическую форму с низкоскоростным диастолическим кровотоком (типичную для периферических артерий), а спектр кровотока в ПНА имеет типичный двухфазный систолодиастолический поток (с доминированием диастолического компонента) [42].

Среднюю вену сердца обычно приходится дифференцировать с ЗМЖА, которую она сопровождает. Ситуация затрудняется при наличии окклюзии ПКА и ретроградного кровотока в ЗМЖА, через ПНА. Здесь тоже на помощь приходят знания о спектральных характеристиках кровотока в артериях и венах. Артериальный кровоток в ЗМЖА в норме антеградный и направлен от основания сердца к ее верхушке. Как и во всех коронарных артериях, он имеет типичную двухфазную систолодиастолическую форму (с доминированием диастолического компонента). Хотя при окклюзии

ПКА кровотока изменяет антеградное направление на ретроградное, его двухфазная форма либо остается неизменной, либо он становится монофазным. Венозный же кровоток всегда имеет трехфазную структуру (с доминированием систолического компонента) и демонстрирует значительную дыхательную вариабельность, что, конечно же, не характерно для артериального кровотока [33].

Были описаны ситуации, когда перикардиальная жидкостью генерирует сильный доплеровский сигнал, который приходится дифференцировать с коронарным артериальным кровотоком [34]. Обычно в таких случаях дифференциальная диагностика не представляет трудностей, так как поток в перикардиальной полости осуществляется в основном в систолу, тогда как коронарный кровоток является доминантно диастолическим.

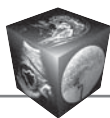
Заключение

Опираясь на данные мировой литературы, можно сделать вывод о том, что ТТЭхоКГ является конкурентоспособным методом для визуализации ствола ЛКА, всех сегментов ПНА и д/З ПКА и позволяет качественно оценить спектр коронарного кровотока в них. Безусловно, у метода есть значительные ограничения, самым главным из которых является низкая пространственная разрешающая способность метода из-за небольшого акустического окна. Из-за этого визуализация других сегментов магистральных коронарных артерий из трансторакального доступа возможна, но частота обнаружения до сих пор является низкой.

Невзирая на ограничения, уникальностью и неоспоримым преимуществом данного метода является возможность неинвазивно оценить коронарный кровоток как однократно, так и в динамике. Это позволяет рассчитывать на получение новых знаний о коронарной гемодинамике с помощью ТТЭхоКГ коронарных артерий.

Список литературы

1. Ross J.J., Mintz G.S., Chandrasekaran K. Transthoracic two-dimensional high frequency (7.5 MHz) ultrasonic visualization of the distal left anterior descending coronary artery. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1990; 15: 373–377.
2. Kenny A., Shapiro L.M. Transthoracic high-frequency two-dimensional echocardiography, Doppler and color flow mapping to determine anatomy and blood flow patterns in the distal left anterior descending coronary artery. *Am. J. Cardiol.* 1992; 69 (16): 1265–1268.
3. Kiviniemi T.O., Saraste M., Koskenvuo J.W., Airaksinen K.E., Toikka J.O., Saraste A., Parkka J.P., Hartiala J.J. Coronary artery diameter can be assessed reliably with transthoracic echocardiography. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2004; 286: H1515–H1520.
4. Harada K., Orino T., Hironaka C., Takahashi Y., Takada G. Coronary blood flow velocity in normal infants and young



- adults assessed by transthoracic echocardiography. *Am. J. Cardiol.* 1999; 83 (11): 1583–1585.
5. Hiraishi S., Misawa H., Takeda N., Horiguchi Y., Fujino N., Ogawa N., Hirota H. Transthoracic ultrasonic visualization of coronary aneurysm, stenosis, and occlusion in Kawasaki disease. *Heart.* 2000; 83 (4): 400–405.
 6. Hiraishi S., Hirota H., Horiguchi Y., Takeda N., Fujino N., Ogawa N., Nakahata Y. Transthoracic doppler assessment of coronary flow velocity reserve in children with Kawasaki disease: comparison with coronary angiography and thallium-201 imaging. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2002; 40: 1816–1824.
 7. Frommelt P.C., Frommelt M.A. Congenital coronary artery anomalies. *Pediatr. Clin. N. Am.* 2004; 51 (5): 1273–1278.
 8. Youn H.J., Foster E. Demonstration of coronary artery flow using transthoracic doppler echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2004; 17: 178–185.
 9. Isaaq K., Da Costa A., De Pasquale J.P., Cerisier A., Lamaud M. Use of the continuity equation for transesophageal Doppler assessment of severity of proximal left coronary artery stenosis: a quantitative coronary angiography validation study. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1998; 32: 42–48.
 10. Youn H.J., Foster E. Transesophageal echocardiography (TEE) in the evaluation of the coronary arteries. *Cardiol. Clin.* 2000; 18 (4): 833–848.
 11. Paraskevaidis I.A., Tsiapras D., Karavolias G.K., Kyriakides Z.S., Kremastinos D.Th. Serial evaluation of coronary flow reserve by transesophageal Doppler echocardiography after angioplasty of proximal left anterior descending coronary artery: a 6-month follow-up study. *Coron. Artery Dis.* 2001; 12: 45–52.
 12. Vrublevsky A.V., Boshchenko A.A., Karpov R.S. Simultaneous transesophageal Doppler assessment of coronary flow reserve in the left anterior descending artery and coronary sinus allows differentiation between proximal and non-proximal left anterior descending artery stenoses. *Eur. J. Echocardiogr.* 2004; 5 (1): 25–33.
 13. Kasprzak J.D., Drozd J., Peruga J.Z., Rafalska K., Krzeminska-Pakula M. Definition of normal flow parameters in proximal coronary arteries using transesophageal Doppler echocardiography. *Echocardiography.* 2000; 17: 141–150.
 14. Vrublevsky A.V., Boshchenko A.A., Karpov R.S. Diagnostics of main coronary artery stenosis and occlusions: multiplane transoesophageal Doppler echocardiographic assessment. *Eur. J. Echocardiogr.* 2001; 2 (3): 170–177.
 15. Hirata N., Asaoka N., Hatsuoka S., Kosakai Y. Noninvasive evaluation of internal thoracic artery and left anterior descending coronary artery anatomic sites using transthoracic Doppler echocardiography: comparison with coronary arteriography. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2003; 126 (4): 1080–1086.
 16. Pellikka P. Going for the money: transthoracic assessment of coronary artery flow reserve. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2004; 17 (6): 700–703.
 17. West A.M., Kramer C.M. Noninvasive imaging of the heart and coronary arteries. *Surg. Clin. N. Am.* 2009; 89: 763–780.
 18. Crowley J.J., Shapiro L.M. Noninvasive analysis of coronary artery poststenotic flow characteristics by using transthoracic echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 1998; 11 (1): 1–9.
 19. Krzanowski M., Bodzon W., Brzostek T., Nizankowski R., Szczeklik A. Value of transthoracic echocardiography for the detection of high-grade coronary artery stenosis: prospective evaluation in 50 consecutive patients scheduled for coronary angiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2000; 13: 1091–1099.
 20. Higashiue S., Watanabe H., Yokoi Y., Takeuchi K., Yoshikawa J. Simple detection of severe coronary stenosis using transthoracic Doppler echocardiography at rest. *Am. J. Cardiol.* 2001; 87: 1064–1068.
 21. Lethen H., Tries H.P., Brechtken J., Kersting S., Lambertz H. Comparison of transthoracic Doppler echocardiography to intracoronary Doppler guide-wire measurements for assessment of coronary flow reserve in the left anterior descending artery for detection of restenosis after coronary angioplasty. *Am. J. Cardiol.* 2003; 91 (4): 412–417.
 22. Daimon M., Watanabe H., Yamagishi H., Kuwabara Y., Hasegawa R., Toyoda T., Yoshida K., Yoshikawa J., Komuro I. Physiologic assessment of coronary artery stenosis without stress tests: noninvasive analysis of phasic flow characteristics by transthoracic Doppler echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2005; 18 (9): 949–955.
 23. Vegsundvåg J., Holte E., Wiseth R., Hegbom K., Hole T. Transthoracic echocardiography for imaging of the different coronary artery segments: a feasibility study [Electronic resource]. *Cardiovasc. Ultrasound.* 2009; 7. URL: <http://www.cardiovascularultrasound.com/content/7/1/58>. (22 December 2009). <http://www.cardiovascularultrasound.com/content/1/1/16>. (дата обращения 1.10.2017).
 24. Vegsundvåg J., Holte E., Wiseth R., Hegbom K., Hole T. Coronary flow velocity reserve in the three main coronary arteries assessed with transthoracic Doppler: a comparative study with quantitative coronary angiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2011; 24 (7): 758–767. DOI: 10.1016/j.echo.2011.03.010
 25. Watanabe N., Akasaka T., Yamaura Y., Akiyama M., Koyama Y., Kamiyama N., Neishi Y., Kaji S., Saito Y., Yoshida K. Noninvasive detection of total occlusion of the left anterior descending coronary artery with transthoracic Doppler echocardiography. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2001; 38: 1328–1332.
 26. Voci P., Pizzuto F., Mariano E., Puddu P.E., Chiavari P.A., Romeo F. Measurement of coronary flow reserve in the anterior and posterior descending coronary arteries by transthoracic Doppler ultrasound. *Am. J. Cardiol.* 2002; 90: 988–991.
 27. Fujimoto K., Watanabe H., Hozumi T., Otsuka R., Hirata K., Yamagishi H., Yoshiyama M., Yoshikawa J. New non-invasive diagnosis of myocardial ischemia of the left circumflex coronary artery using coronary flow reserve measurement by transthoracic Doppler echocardiography: comparison with thallium-201 single photon emission computed tomography. *J. Cardiol.* 2004; 43 (3): 109–116.
 28. Saraste M., Vesalainen R.K., Ylitalo A., Saraste A., Koskenvuo J.W., Toikka J.O., Vaittinen M.A., Hartiala J.J., Airaksinen K.E. Transthoracic Doppler echocardiography as a noninvasive tool to assess coronary artery stenoses – a comparison with quantitative coronary angiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2005; 18 (6): 679–685.
 29. Caiati C., Zedda N., Cadeddu M., Chen L., Montaldo C., Iliceto S., Lepera M.E., Favale S. Detection, location, and



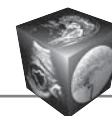
- severity assessment of left anterior descending coronary artery stenoses by means of contrast-enhanced transthoracic harmonic echo Doppler. *Eur. Heart J.* 2009; 30: 1797–1806. DOI: 10.1093/eurheartj/ehp163.
30. Caiati C., Montaldo C., Zedda N., Bina A., Iliceto S. New noninvasive method for coronary flow reserve assessment: contrast-enhanced transthoracic second harmonic echo Doppler. *Circulation.* 1999; 99 (6): 771–778.
31. Caiati C., Montaldo C., Zedda N., Montisci R., Ruscazio M., Lai G., Cadeddu M., Meloni L., Iliceto S. Validation of a new noninvasive method (contrast-enhanced transthoracic second harmonic echo Doppler) for the evaluation of coronary flow reserve: comparison with intracoronary Doppler flow wire. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1999; 34: 1193–1200.
32. Takeuchi M., Ogawa K., Wake R., Takise H., Miyazaki C., Otani S., Sakamoto K., Yoshikawa J. Measurement of coronary flow velocity reserve in the posterior descending coronary artery by contrast-enhanced transthoracic Doppler echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2004; 17 (1): 21–27.
33. Бощенко А.А. Комплексная неинвазивная ультразвуковая оценка коронарного кровотока и коронарного резерва у больных ишемической болезнью сердца: Дис. ... д-ра мед. наук. Томск, 2014. 311 с.
34. Krzanowski M., Bodzoń W., Dimitrow P.P. Imaging of all three coronary arteries by transthoracic echocardiography. An illustrated guide [Electronic resource]. *Cardiovasc. Ultrasound.* 2003; 1. URL: <http://www.cardiovascular-ultrasound.com/content/1/1/16>. (дата обращения 17.11.2017).
35. Kini A.S. Coronary angiography, lesion classification and severity assessment. *Cardiol. Clin.* 2006; 24: 153–162.
36. Czernin J., Muller P., Chan S., Brunken R.C., Porenta G., Krivokapich J., Chen K., Chan A., Phelps M.E., Schelbert H.R. Influence of age and hemodynamics on myocardial blood flow and flow reserve. *Circulation.* 1993; 88: 62–69.
37. Di Mario C., Meneveau N., Gil R., De Jaegere P., De Feyter P.J., Slager C.J., Roelandt J.R., Serruys P.W. Maximal blood flow velocity in severe coronary stenoses measured with a Doppler guide-wire. Limitations for the application of the continuity equation in the assessment of stenosis severity. *Am. J. Cardiol.* 1993; 71: 54D–61D.
38. Di Carli M., Czernin J., Hoh C.K., Gerbaudo V.H., Brunken R.C., Huang S.C., Phelps M.E., Schelbert H.R. Relation among stenosis severity, myocardial blood flow, and flow reserve in patients with coronary artery disease. *Circulation.* 1995; 91: 1944–1951.
39. Chamuleau S.A., Meuwissen M., van Eck-Smit B.L., Koch K.T., De Jong A., De Winter R.J., Schotborgh C.E., Bax M., Verberne H.J., Tijssen J.G., Piek J.J. Fractional flow reserve, absolute and relative coronary blood flow velocity reserve in relation to the results of technetium-99m sestamibi single-photon emission computed tomography in patients with two-vessel coronary artery disease. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2001; 37 (5): 1316–1322.
40. Бощенко А.А., Врублевский А.В., Карпов Р.С. Трансторакальное ультразвуковое исследование магистральных коронарных артерий: методические аспекты, возможности, ограничения. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2008; 6: 60–75.
41. Kim H.K., Kim Y.J., Sohn D.W., Park Y.B., Choi Y.S. Transthoracic echocardiographic evaluation of coronary flow reserve in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *Int. J. Cardiol.* 2004; 94: 167–171.
42. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. Ультразвуковая ангиология. М.: Реальное время, 2007. 398 с.

References

1. Ross J.J., Mintz G.S., Chandrasekaran K. Transthoracic two-dimensional high frequency (7.5 MHz) ultrasonic visualization of the distal left anterior descending coronary artery. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1990; 15: 373–377.
2. Kenny A., Shapiro L.M. Transthoracic high-frequency two-dimensional echocardiography, Doppler and color flow mapping to determine anatomy and blood flow patterns in the distal left anterior descending coronary artery. *Am. J. Cardiol.* 1992; 69 (16): 1265–1268.
3. Kiviniemi T.O., Saraste M., Koskenvuo J.W., Airaksinen K.E., Toikka J.O., Saraste A., Parkka J.P., Hartiala J.J. Coronary artery diameter can be assessed reliably with transthoracic echocardiography. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* 2004; 286: H1515–H1520.
4. Harada K., Orino T., Hironaka C., Takahashi Y., Takada G. Coronary blood flow velocity in normal infants and young adults assessed by transthoracic echocardiography. *Am. J. Cardiol.* 1999; 83 (11): 1583–1585.
5. Hiraishi S., Misawa H., Takeda N., Horiguchi Y., Fujino N., Ogawa N., Hirota H. Transthoracic ultrasonic visualization of coronary aneurysm, stenosis, and occlusion in Kawasaki disease. *Heart.* 2000; 83 (4): 400–405.
6. Hiraishi S., Hirota H., Horiguchi Y., Takeda N., Fujino N., Ogawa N., Nakahata Y. Transthoracic doppler assessment of coronary flow velocity reserve in children with Kawasaki disease: comparison with coronary angiography and thallium-201 imaging. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2002; 40: 1816–1824.
7. Frommelt P.C., Frommelt M.A. Congenital coronary artery anomalies. *Pediatr. Clin. N. Am.* 2004; 51 (5): 1273–1278.
8. Youn H.J., Foster E. Demonstration of coronary artery flow using transthoracic doppler echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2004; 17: 178–185.
9. Isaza K., Da Costa A., De Pasquale J.P., Cerisier A., Lamaud M. Use of the continuity equation for transesophageal Doppler assessment of severity of proximal left coronary artery stenosis: a quantitative coronary angiography validation study. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1998; 32: 42–48.
10. Youn H.J., Foster E. Transesophageal echocardiography (TEE) in the evaluation of the coronary arteries. *Cardiol. Clin.* 2000; 18 (4): 833–848.
11. Paraskevaidis I.A., Tsiapras D., Karavolias G.K., Kyriakides Z.S., Kremastinos D.Th. Serial evaluation of coronary flow reserve by transesophageal Doppler echocardiography after angioplasty of proximal left anterior descending coronary artery: a 6-month follow-up study. *Coron. Artery Dis.* 2001; 12: 45–52.
12. Vrublevsky A.V., Boshchenko A.A., Karpov R.S. Simultaneous transesophageal Doppler assessment of coronary flow reserve in the left anterior descending artery and coronary sinus allows differentiation between proximal and non-proximal left anterior descending artery stenoses. *Eur. J. Echocardiogr.* 2004; 5 (1): 25–33.
13. Kasprzak J.D., Drozd J., Peruga J.Z., Rafalska K., Krzeminska-Pakula M. Definition of normal flow parameters in proximal coronary arteries using



- transesophageal Doppler echocardiography. *Echocardiography*. 2000; 17: 141–150.
14. Vrublevsky A.V., Boshchenko A.A., Karpov R.S. Diagnostics of main coronary artery stenosis and occlusions: multiplane transoesophageal Doppler echocardiographic assessment. *Eur. J. Echocardiogr.* 2001; 2 (3): 170–177.
 15. Hirata N., Asaoka N., Hatsuoka S., Kosakai Y. Noninvasive evaluation of internal thoracic artery and left anterior descending coronary artery anatomic sites using transthoracic Doppler echocardiography: comparison with coronary arteriography. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 2003; 126 (4): 1080–1086.
 16. Pellikka P. Going for the money: transthoracic assessment of coronary artery flow reserve. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2004; 17 (6): 700–703.
 17. West A.M., Kramer C.M. Noninvasive imaging of the heart and coronary arteries. *Surg. Clin. N. Am.* 2009; 89: 763–780.
 18. Crowley J.J., Shapiro L.M. Noninvasive analysis of coronary artery poststenotic flow characteristics by using transthoracic echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 1998; 11 (1): 1–9.
 19. Krzanowski M., Bodzon W., Brzostek T., Nizankowski R., Szczeklik A. Value of transthoracic echocardiography for the detection of high-grade coronary artery stenosis: prospective evaluation in 50 consecutive patients scheduled for coronary angiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2000; 13: 1091–1099.
 20. Higashiue S., Watanabe H., Yokoi Y., Takeuchi K., Yoshikawa J. Simple detection of severe coronary stenosis using transthoracic Doppler echocardiography at rest. *Am. J. Cardiol.* 2001; 87: 1064–1068.
 21. Lethen H., Tries H.P., Brechtken J., Kersting S., Lambert H. Comparison of transthoracic Doppler echocardiography to intracoronary Doppler guide-wire measurements for assessment of coronary flow reserve in the left anterior descending artery for detection of restenosis after coronary angioplasty. *Am. J. Cardiol.* 2003; 91 (4): 412–417.
 22. Daimon M., Watanabe H., Yamagishi H., Kuwabara Y., Hasegawa R., Toyoda T., Yoshida K., Yoshikawa J., Komuro I. Physiologic assessment of coronary artery stenosis without stress tests: noninvasive analysis of phasic flow characteristics by transthoracic Doppler echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2005; 18 (9): 949–955.
 23. Vegsundvåg J., Holte E., Wiseth R., Hegbom K., Hole T. Transthoracic echocardiography for imaging of the different coronary artery segments: a feasibility study [Electronic resource]. *Cardiovasc. Ultrasound*. 2009; 7. URL: <http://www.cardiovascularultrasound.com/content/7/1/58>. (22 December 2009). <http://www.cardiovascularultrasound.com/content/1/1/16>. (дата обращения 1.10.2017).
 24. Vegsundvåg J., Holte E., Wiseth R., Hegbom K., Hole T. Coronary flow velocity reserve in the three main coronary arteries assessed with transthoracic Doppler: a comparative study with quantitative coronary angiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2011; 24 (7): 758–767. DOI: 10.1016/j.echo.2011.03.010
 25. Watanabe N., Akasaka T., Yamaura Y., Akiyama M., Koyama Y., Kamiyama N., Neishi Y., Kaji S., Saito Y., Yoshida K. Noninvasive detection of total occlusion of the left anterior descending coronary artery with transthoracic Doppler echocardiography. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2001; 38: 1328–1332.
 26. Voci P., Pizzuto F., Mariano E., Puddu P.E., Chiavari P.A., Romeo F. Measurement of coronary flow reserve in the anterior and posterior descending coronary arteries by transthoracic Doppler ultrasound. *Am. J. Cardiol.* 2002; 90: 988–991.
 27. Fujimoto K., Watanabe H., Hozumi T., Otsuka R., Hirata K., Yamagishi H., Yoshiyama M., Yoshikawa J. New non-invasive diagnosis of myocardial ischemia of the left circumflex coronary artery using coronary flow reserve measurement by transthoracic Doppler echocardiography: comparison with thallium-201 single photon emission computed tomography. *J. Cardiol.* 2004; 43 (3): 109–116.
 28. Saraste M., Vesalainen R.K., Ylitalo A., Saraste A., Koskenvuo J.W., Toikka J.O., Vaittinen M.A., Hartiala J.J., Airaksinen K.E. Transthoracic Doppler echocardiography as a noninvasive tool to assess coronary artery stenoses – a comparison with quantitative coronary angiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2005; 18 (6): 679–685.
 29. Caiati C., Zedda N., Cadeddu M., Chen L., Montaldo C., Iliceto S., Lepera M.E., Favale S. Detection, location, and severity assessment of left anterior descending coronary artery stenoses by means of contrast-enhanced transthoracic harmonic echo Doppler. *Eur. Heart J.* 2009; 30: 1797–1806. DOI: 10.1093/eurheartj/ehp163.
 30. Caiati C., Montaldo C., Zedda N., Bina A., Iliceto S. New noninvasive method for coronary flow reserve assessment: contrast-enhanced transthoracic second harmonic echo Doppler. *Circulation*. 1999; 99 (6): 771–778.
 31. Caiati C., Montaldo C., Zedda N., Montisci R., Ruscazio M., Lai G., Cadeddu M., Meloni L., Iliceto S. Validation of a new noninvasive method (contrast-enhanced transthoracic second harmonic echo Doppler) for the evaluation of coronary flow reserve: comparison with intracoronary Doppler flow wire. *J. Am. Coll. Cardiol.* 1999; 34: 1193–1200.
 32. Takeuchi M., Ogawa K., Wake R., Takise H., Miyazaki C., Otani S., Sakamoto K., Yoshikawa J. Measurement of coronary flow velocity reserve in the posterior descending coronary artery by contrast-enhanced transthoracic Doppler echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2004; 17 (1): 21–27.
 33. Boshchenko A.A. Complex non-invasive ultrasound assessment of coronary blood flow and coronary reserve in patients with ischemic heart disease: Diss. ... doct. med. nauk. Tomsk, 2014. 311 p. (In Russian)
 34. Krzanowski M., Bodzoń W., Dimitrow P.P. Imaging of all three coronary arteries by transthoracic echocardiography. An illustrated guide [Electronic resource]. *Cardiovasc. Ultrasound*. 2003; 1. URL: <http://www.cardiovascularultrasound.com/content/1/1/16>. (дата обращения 17.11.2017).
 35. Kini A.S. Coronary angiography, lesion classification and severity assessment. *Cardiol. Clin.* 2006; 24: 153–162.
 36. Czernin J., Muller P., Chan S., Brunken R.C., Porenta G., Krivokapich J., Chen K., Chan A., Phelps M.E., Schelbert H.R. Influence of age and hemodynamics on myocardial blood flow and flow reserve. *Circulation*. 1993; 88: 62–69.
 37. Di Mario C., Meneveau N., Gil R., De Jaegere P., De Feyter P.J., Slager C.J., Roelandt J.R., Serruys P.W. Maximal blood flow velocity in severe coronary stenoses measured with a Doppler guide-wire. Limitations for the



- application of the continuity equation in the assessment of stenosis severity. *Am. J. Cardiol.* 1993; 71: 54D-61D.
38. Di Carli M., Czernin J., Hoh C.K., Gerbaudo V.H., Brunken R.C., Huang S.C., Phelps M.E., Schelbert H.R. Relation among stenosis severity, myocardial blood flow, and flow reserve in patients with coronary artery disease. *Circulation.* 1995; 91: 1944–1951.
39. Chamuleau S.A., Meuwissen M., van Eck-Smit B.L., Koch K.T., De Jong A., De Winter R.J., Schotborgh C.E., Bax M., Verberne H.J., Tijssen J.G., Piek J.J. Fractional flow reserve, absolute and relative coronary blood flow velocity reserve in relation to the results of technetium-99m sestamibi single-photon emission computed tomography in patients with two-vessel coronary artery disease. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2001; 37 (5): 1316–1322.
40. Boshchenko A.A., Vrublevsky A.V., Karpov R.S. Transthoracic echocardiography in the assessment of main coronary arteries: methodological aspects, potentials, limitations. *Ultrasound and Functional Diagnostics.* 2008; 6: 60–75. (In Russian)
41. Kim H.K., Kim Y.J., Sohn D.W., Park Y.B., Choi Y.S. Transthoracic echocardiographic evaluation of coronary flow reserve in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *Int. J. Cardiol.* 2004; 94: 167–171.
42. Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. *Ultrasound angiology.* Moscow: Realnoe vremya, 2007. 398 p. (In Russian)

Поступила в редакцию 14.12.2017.
Принята к печати 12.01.2018.

Received on 14.12.2017.
Accepted for publication on 12.01.2018.