

Врублевский А. В., Саушкин В. В.

Научно-исследовательский институт кардиологии,

Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, Томск, Россия

РОЛЬ ЛУЧЕВЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ В КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКЕ АТЕРОСКЛЕРОТИЧЕСКИХ БЛЯШЕК В ГРУДНОМ ОТДЕЛЕ АОРТЫ

| | |
|----------------------------|---|
| <i>Цель</i> | Сравнительный анализ высоты атеросклеротических бляшек (АСБ) в нисходящем отделе грудной аорты (ГА) по данным двухмерной (2D), трехмерной (3D) чреспищеводной эхокардиографии (ЧПЭхоКГ) и мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) с контрастированием. |
| <i>Материал и методы</i> | У 34 больных (20 мужчин и 14 женщин, средний возраст 68 [62; 71] лет) выполнено исследование ГА с помощью 2D-, 3D-ЧПЭхоКГ и МСКТ с контрастированием. Сравнение высоты АСБ выполнено с помощью метода Блэнда – Альтмана и корреляционного анализа Спирмена. Исследование проведено как слепое сравнительное, в котором морфометрию АСБ оценивали с помощью каждой из используемых лучевых модальностей, не зная результатов сравниваемого метода. |
| <i>Результаты</i> | Проанализированы 100 АСБ в нисходящем отделе ГА. Средняя высота всех проанализированных АСБ в нисходящем отделе ГА составила для 2D-ЧПЭхоКГ 2,2 мм [2; 2,7], 3D-ЧПЭхоКГ – 3,1 мм [2,7; 3,55] и МСКТ – 3,05 мм [2,55; 3,55]. Высота АСБ при 2D-ЧПЭхоКГ была статистически значимо ниже при сравнении с высотой аналогичных АСБ как при 3D-ЧПЭхоКГ, так и при МСКТ. Средняя разность (bias) составила между 2D- и 3D-ЧПЭхоКГ 0,88±0,34 мм, а между 2D-ЧПЭхоКГ и МСКТ 0,83±0,41 мм. Коэффициенты корреляции высоты АСБ составили между 2D- и 3D-ЧПЭхоКГ ($r=0,87$; $p<0,001$), а между 2D-ЧПЭхоКГ и МСКТ ($r=0,86$; $p<0,001$). Различия высоты аналогичных АСБ между 3D-ЧПЭхоКГ и МСКТ не выявлено. |
| <i>Заключение</i> | Трехмерная реконструкция АСБ в ГА при ЧПЭхоКГ является более точным инструментом количественной оценки АСБ, чем двухмерное исследование. |
| <i>Ключевые слова</i> | Двух- и трехмерная чреспищеводная эхокардиография; мультиспиральная компьютерная томография; грудной отдел аорты; атеросклероз; атеросклеротические бляшки |
| <i>Для цитирования</i> | Vrublevsky A.V., Saushkin V.V. Role of Imaging Modalities in the Quantitative Assessment of Atherosclerotic Plaques in the Thoracic Aorta. <i>Kardiologiya</i> . 2024;64(3):40–45. [Russian: Врублевский А.В., Саушкин В.В. Роль лучевых методов диагностики в количественной оценке атеросклеротических бляшек в грудном отделе аорты. <i>Кардиология</i> . 2024;64(3):40–45]. |
| <i>Автор для переписки</i> | Врублевский Александр Васильевич. E-mail: avr@cardio-tomsk.ru |

Введение

Технические и визуализационные преимущества трехмерной (3D) чреспищеводной эхокардиографии (ЧПЭхоКГ) в количественной оценке и геометрии атеросклеротических бляшек (АСБ) в грудном отделе аорты (ГА) при сравнении с двухмерным (2D) исследованием позволили более точно диагностировать ультразвуковую стадию атеросклероза ГА и осложненные АСБ [1]. Так, результаты нашего предыдущего исследования [1] свидетельствуют о более высокой, чем 2D-исследование, информативности 3D-ЧПЭхоКГ для оценки высоты, признаков нестабильности и сложной геометрии АСБ в ГА, и целесообразности применения 3D-режимов в зонах интереса как верифицированных АСБ, так и локального или диффузного увеличения толщины интимы–медии (ТИМ) >1 мм. Более крупные АСБ в ГА при 3D-ЧПЭхоКГ по сравнению с 2D продемонстрировали также А. Weissler-Snir и со-

авт. [2]. В то же время ограничением этих исследований является отсутствие сравнительного анализа точности 2D- и 3D-ЧПЭхоКГ в количественной оценке АСБ в ГА с информативностью мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) или магнитно-резонансной томографии, которые в последние годы позиционируются как ведущие методы визуализации патологии аорты, в том числе при атеросклерозе [1, 2].

Несмотря на использование ионизирующего излучения и йодсодержащих контрастных веществ, МСКТ остается наиболее востребованным методом визуализации в клинике для диагностики и последующего наблюдения за больными как с острыми, так и хроническими заболеваниями аорты [3–5]. С одной стороны, это обусловлено более широкой доступностью метода и возможностью применения у больных с тяжелой сердечной и дыхательной недостаточностью и искусственным водителем ритма сердца [5]. С другой стороны, несомненным

преимуществом МСКТ являются короткое время исследования, высокое пространственное и временное разрешение, а также значительно больший объем получаемых данных с широкой постпроцессинговой обработкой, в результате которой возможно измерять аорту на любом ее уровне и строить трехмерные реконструкции [5]. В связи с этим в качестве референтной методики для проведения сравнительной оценки высоты АСБ в ГА при 2D- и 3D-ЧПЭхоКГ и точности этих режимов в диагностике ультразвуковой стадии атеросклероза ГА мы остановили свой выбор на МСКТ.

Цель

Сравнительный анализ высоты атеросклеротических бляшек в нисходящем отделе грудной аорты по данным двухмерной, трехмерной чреспищеводной эхокардиографии и мультиспиральной компьютерной томографии с контрастированием.

Материал и методы

Выполненное исследование служит необходимым дополнением к результатам, представленным в нашей предыдущей статье [1]. Обследованы 34 больных (20 мужчин и 14 женщин, средний возраст 68 [62; 71] лет), направленных для проведения МСКТ. Основными показаниями к проведению МСКТ у обследованных больных являлись диагностика степени стеноза коронарных артерий, в том числе оценка проходимости шунтов и установленных коронарных стентов (n=5); дилатации грудного отдела аорты различной степени (n=12); аневризмы брюшного отдела аорты (n=1); диссекции стенки аорты (n=1); стеноза аортального клапана перед процедурой транскатетерной имплантации искусственного аортального клапана (n=13). Клиническая характеристика больных представлена в табл. 1.

Исследование выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации и одобрено комитетом по биомедицинской этике. Все больные дали письменное информированное согласие на участие в исследовании. Критериями исключения служили абсолютные противопоказания к выполнению ЧПЭхоКГ и МСКТ с контрастированием, фибрилляция предсердий, частая экстрасистолия.

За сутки до проведения МСКТ выполняли натошак 2D- и 3D-ЧПЭхоКГ на ультразвуковой диагностической системе Epiq 7G с помощью матричного чреспищеводного датчика X8-2t. Интубацию пищевода осуществляли в положении пациента лежа на левом боку после местной анестезии слизистой оболочки ротоглотки (лидокаин 10%, спрей).

В 2D-режиме визуализировали восходящий отдел, доступные для локации участки дуги и весь нисходящий

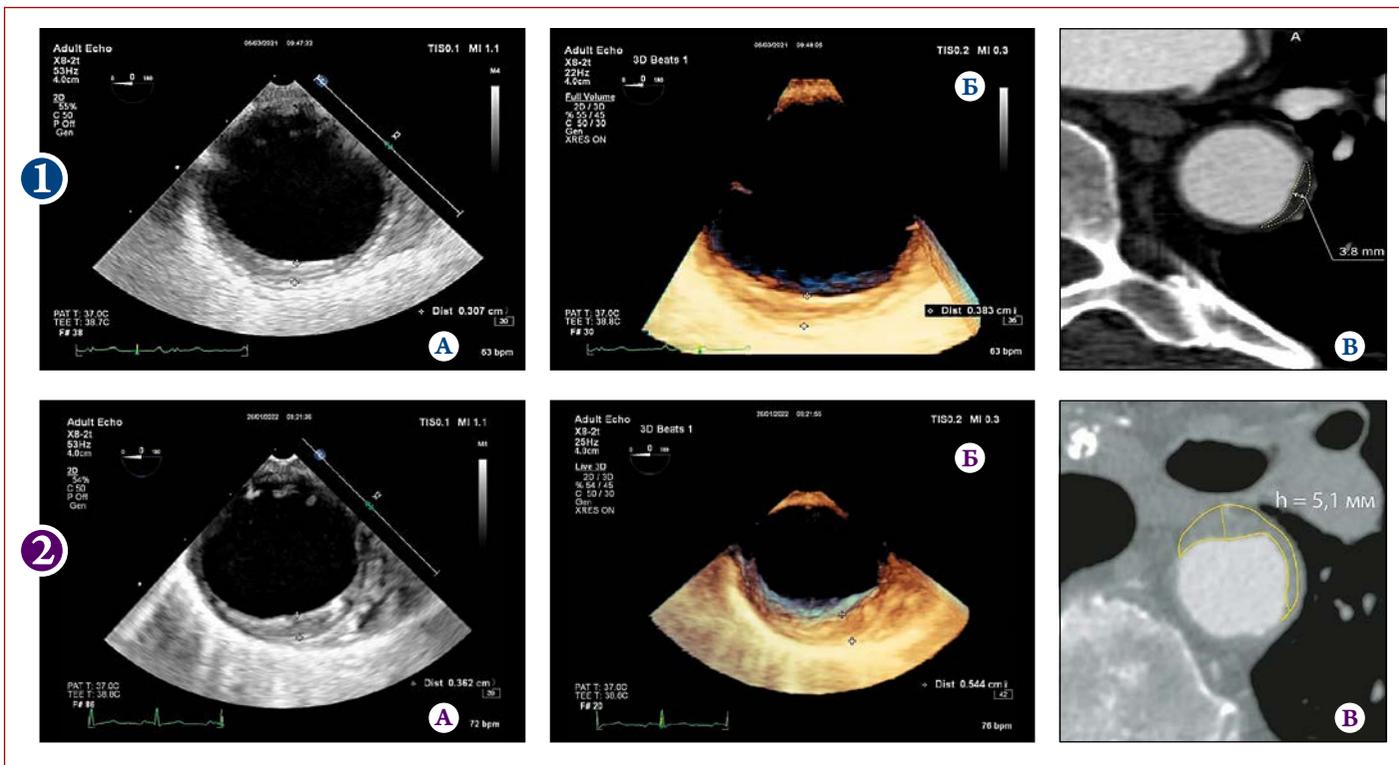
Таблица 1. Клиническая характеристика обследованных 34 больных

| Показатель | Значение | |
|---|-------------|------|
| | абс. число | % |
| Мужчины | 20 | 58,8 |
| Женщины | 14 | 41,2 |
| Средний возраст, годы* | 68 [62; 71] | |
| Дисплазия соединительной ткани | 4 | 11,7 |
| Ишемическая болезнь сердца | 24 | 70,6 |
| Постинфарктный кардиосклероз | 11 | 32,4 |
| Стентирование коронарных артерий в анамнезе | 12 | 35,3 |
| Шунтирование коронарных артерий в анамнезе | 7 | 20,6 |
| Артериальная гипертензия (АД >140/90 мм рт. ст.) | 34 | 100 |
| Инсульт или транзиторная ишемическая атака в анамнезе | 2 | 5,8 |
| Хроническая болезнь почек, III–V стадия (клиренс креатинина <60 мл/мин/м ²) | 2 | 5,8 |
| Ожирение (ИМТ ≥30 кг/м ²) | 14 | 41,2 |
| Сахарный диабет 2-го типа или нарушение толерантности к глюкозе | 11 | 32,4 |
| Курение | 9 | 26,5 |
| Дислипидемия | 33 | 97,1 |
| Аневризма восходящего отдела аорты без диссекции (диаметр ≥50 мм) | 8 | 23,5 |
| Пограничное расширение восходящего отдела аорты (диаметр 40–49 мм) | 6 | 17,6 |
| Аневризма брюшного отдела аорты (диаметр ≥30 мм) | 1 | 2,9 |
| Дегенеративный стеноз аортального клапана | 16 | 47,1 |
| Атеросклероз грудного отдела аорты | | |
| • стадия 1 | 2 | 5,8 |
| • стадия 2 | 20 | 58,8 |
| • стадия 3 | 9 | 26,5 |
| • стадия 4 | 1 | 2,9 |
| • стадия 5 | 2 | 5,8 |
| Стенозы сонных артерий <50% | 7 | 20,6 |
| Стенозы сонных артерий ≥50% | 31 | 91,2 |
| Стенозы бедренных артерий <50% | 4 | 11,7 |
| Стенозы бедренных артерий ≥50% | 23 | 67,6 |
| Фракция выброса левого желудочка, %* | 65 [58; 69] | |

* – данные представлены как медиана и квартили – Ме [Q1; Q3]. АД – артериальное давление; ИМТ – индекс массы тела.

отдел ГА в продольном и поперечном сечениях по стандартному протоколу, применяя технологию сканирования xPlane [5]. Синхронно регистрировали электрокардиограмму (ЭКГ) во II модифицированном отведении. На расстоянии 25–30 см от резцов на поперечной проекции нисходящего отдела ГА измеряли ТИМ не менее чем в трех условных сегментах и рассчитывали среднее значение. ТИМ с четким, ровным контуром, <1 мм расценивали как норму [5]. 3D-исследование выполняли, при-

Центральная иллюстрация. Примеры оценки высоты атером в нисходящем отделе грудной аорты в 2D-, 3D-режимах при ЧПЭхоКГ и при МСКТ



1А – 2D-ЧПЭхоКГ, высота атеромы 3 мм; 1Б – 3D-ЧПЭхоКГ, высота атеромы 3,8 мм; 1В – МСКТ, высота атеромы 3,8 мм.
2А – 2D-ЧПЭхоКГ, высота атеромы 3,6 мм; 2Б – 3D-ЧПЭхоКГ, высота атеромы 5,4 мм; 2В – МСКТ, высота атеромы 5,1 мм.

меняя режимы сканирования в реальном времени – Live 3D, фрагментарно увеличенного 3D-изображения – 3D Zoom и полнообъемной пирамиды – Full Volume. Ход 2D- и 3D-исследований записывали в виде серии видеоклипов на жесткий диск прибора с последующей off-line обработкой на рабочей станции QLab ver. 15.0. Измеряли высоту каждой АСБ в 2D- и 3D-режимах. При выявлении в 2D-режиме локального или диффузного увеличения ТИМ >1,0 мм выполняли 3D-исследование в зоне интереса с применением комбинации режимов Live 3D, 3D Zoom и Full Volume.

Согласно рекомендациям Американского общества по эхокардиографии (ASE) и Европейской ассоциации сердечно-сосудистого изображения (ЕАСVI) 2015 г. [5], выделяли 5 стадий атеросклероза ГА: 1-я – ТИМ <2 мм; 2-я – локальное или диффузное увеличение ТИМ 2–3 мм (мелкие АСБ); 3-я – АСБ высотой >3–5 мм без мобильного или ульцерогенного компонентов; 4-я – АСБ высотой >5 мм без мобильного или ульцерогенного компонентов; 5-я – АСБ любой высоты с мобильным или ульцерогенным компонентом.

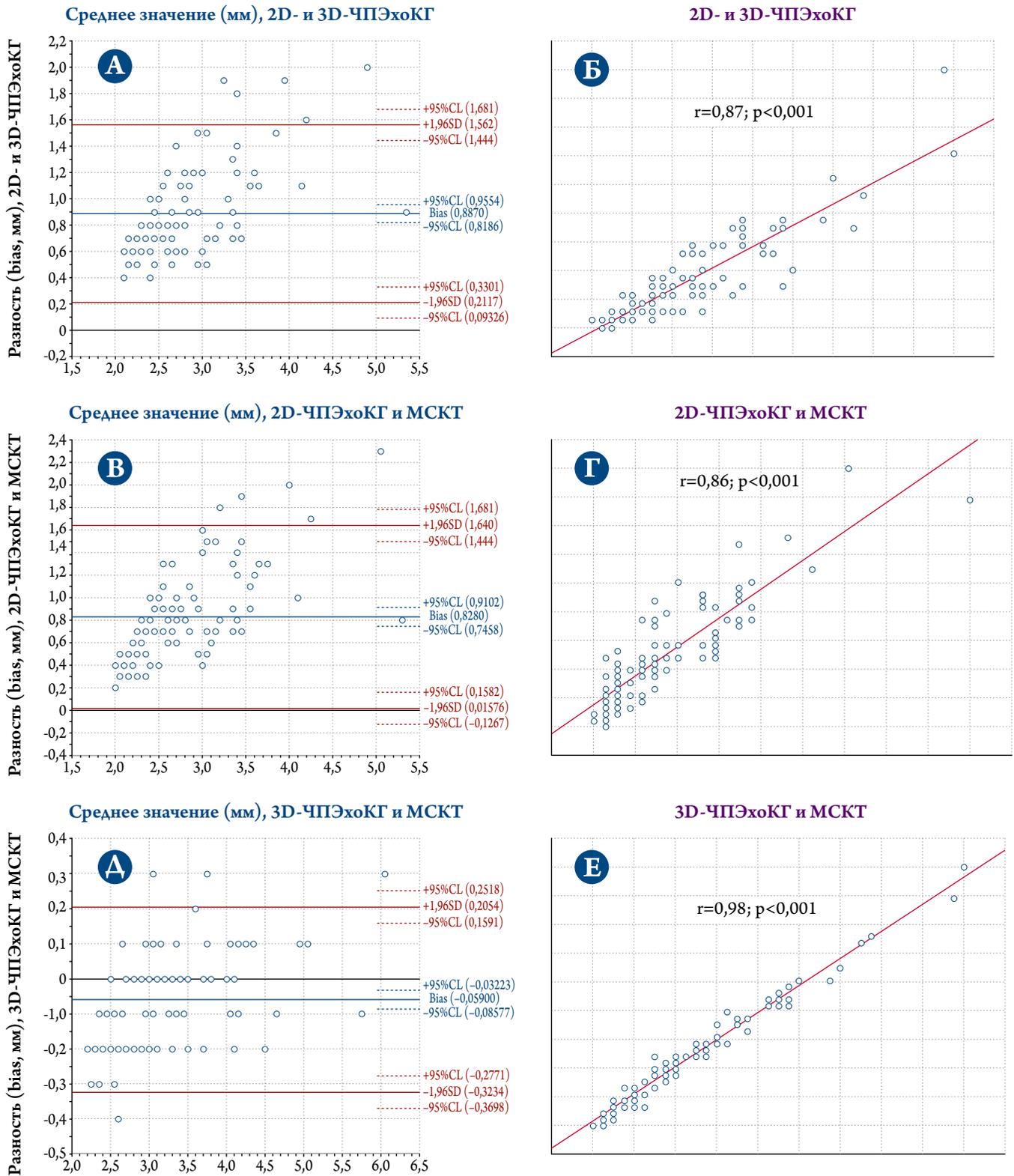
МСКТ грудной клетки с контрастированием выполняли натощак на гибридном 64-срезовом компьютерном томографе Discovery NM/CT 570c. Для контрастирования использовали внутривенную инфузию йодсодержащего контрастного препарата (Ультра-

вист 370 или Йомерон 400), в объеме 60–110 мл в зависимости от массы тела пациента. Скорость внутривенного введения контрастного вещества составила 4–5 мл/с. Запись исследования проводили в ретро-спективном режиме синхронизации с ЭКГ для последующего реформатирования изображений в 10 фазах сердечного цикла. Параметры записи исследования составили: напряжение на трубке 120 кВ, сила тока 400–600 мА, скорость вращения трубки 0,3 с, питч: 0,18–0,22 (в зависимости от числа сердечных сокращений). Изображения реконструировали по стандартным протоколам с толщиной срезов 0,625 мм [5]. Обработку полученных изображений проводили на рабочей станции Advantage Workstations 4.7 с последующим определением размеров всех отделов ГА, построением объемных реконструкций и оценкой высоты АСБ.

Исследование выполнено как слепое, сравнительное, в котором морфометрию АСБ осуществляли с помощью каждой из используемых лучевых модальностей, не зная результатов сравниваемого метода.

Статистическая обработка материала выполнена с помощью пакета прикладных программ Statistica, ver. 10.0 («StatSoft Inc.», США). Вид распределения выборки оценивали с помощью критерия Шапиро–Уилка. Учитывая отсутствие нормального распределения выбор-

Рисунок 1. Сравнительный анализ высоты атером в нисходящем отделе грудной аорты в 2D-, 3D-режимах при мультиплановой ЧПЭхоКГ и МСКТ по методу Бленда–Альтмана и с помощью корреляционного анализа Спирмена (n=100)



А–Б: 2D- и 3D-ЧПЭхоКГ; В–Г: 2D-ЧПЭхоКГ и МСКТ; Д–Е: 3D-ЧПЭхоКГ и МСКТ.

ки, данные представляли как медиана и квантили – Ме [Q1; Q3]. Сравнение высоты АСБ в нисходящем отделе ГА в 2D-, 3D-режимах и при МСКТ выполнено методом Бленда–Альтмана. Дополнительно взаимосвязь вы-

соты АСБ в нисходящем отделе ГА в 2D-, 3D-режимах и при МСКТ оценивали с помощью корреляционного анализа, который проводили путем расчета коэффициентов корреляции Спирмена.

Результаты

Для сравнительного анализа высоты АСБ были отображены изображения высокого качества 100 АСБ в нисходящем отделе ГА, которые были визуализированы и измерены как при 2D- и 3D-ЧПЭхоКГ, так и при МСКТ.

Средняя высота всех проанализированных АСБ в нисходящем отделе ГА составила для 2D-ЧПЭхоКГ 2,2 мм [2; 2,7], для 3D-ЧПЭхоКГ – 3,1 мм [2,7; 3,55] и для МСКТ – 3,05 мм [2,55; 3,55]. Сравнение высоты АСБ при 2D-, 3D-ЧПЭхоКГ и МСКТ, выполненное методом Бленда–Альтмана, подтвердило предполагаемое значимое расхождение полученных данных (рис. 1). Нами установлено, что высота АСБ в 2D-режиме при ЧПЭхоКГ была статистически значимо ниже при сравнении с высотой аналогичных АСБ как в 3D-режиме при ЧПЭхоКГ, так и при МСКТ (рис. 1 и Центральная иллюстрация). Это подтверждают значимая средняя разность (bias) и ее стандартное отклонение, составившие между 2D- и 3D-ЧПЭхоКГ $0,88 \pm 0,34$ мм, а между 2D-ЧПЭхоКГ и МСКТ $0,83 \pm 0,41$ мм, несмотря на высокие статистически значимые коэффициенты корреляции высоты АСБ как между 2D- и 3D-ЧПЭхоКГ ($r=0,87$; $p<0,001$), так и между 2D-ЧПЭхоКГ и МСКТ ($r=0,86$; $p<0,001$) (рис. 1). В то же время значимого различия между высотой аналогичных АСБ в 3D-режиме при ЧПЭхоКГ и при МСКТ нами не выявлено (рис. 1 и Центральная иллюстрация). Об этом свидетельствуют статистически незначимая средняя разность (bias), стремящаяся к нулю, и ее стандартное отклонение, составившие между 3D-ЧПЭхоКГ и МСКТ $-0,06 \pm 0,13$ мм (рис. 1).

Подтверждением этого служит выявленный нами наиболее высокий статистически значимый коэффициент корреляции высоты АСБ между 3D-ЧПЭхоКГ и МСКТ ($r=0,98$; $p<0,001$).

Обсуждение

Широкое внедрение в клиническую практику 3D-ЧПЭхоКГ привело к изменению диагностического алгоритма и методических подходов при оценке АСБ в ГА. Так, в нашем предыдущем исследовании [1] было показано, что трехмерная реконструкция АСБ в ГА имеет объективное преимущество перед общеизвестными ограничениями 2D-изображения, позволяя визуализировать АСБ в стереоструктуре, с разных углов обзора, на большем протяжении, с возможностью ротации, что дает возможность получить совершенно другие, в отличие от 2D-режима, количественные и структурные характеристики АСБ.

Проанализировав морфометрию 620 АСБ в ГА по данным 2D- и 3D-ЧПЭхоКГ, мы установили, что при трехмерной реконструкции, в отличие от 2D-режима, АСБ ви-

зуализируются как более крупные структуры за счет увеличения их высоты [1]. Кроме того, нами было показано, что 3D-режим обеспечивает более точную диагностику и количественную оценку осложненных АСБ, а именно, бляшек с мобильным компонентом [1]. Это приводит к диагностике в 3D-режиме ультразвуковой стадии атеросклероза ГА более высокой градации, чем в 2D-режиме, что уточняет клинический диагноз и имеет важное значение для динамического наблюдения и прогноза у больных этой категории [1]. В то же время ограничением нашего предыдущего исследования являлось отсутствие сравнительного анализа результатов морфометрической оценки АСБ в ГА с помощью ультразвуковых методик – 2D- и 3D-ЧПЭхоКГ с данными томографических методов с контрастным усилением, в частности МСКТ.

В настоящем исследовании, применив в качестве референтной методики МСКТ грудной клетки с контрастированием, мы доказали, что 3D-режим при ЧПЭхоКГ отражает высоту АСБ в ГА более корректно, чем 2D-режим, а это является важным условием для точной диагностики ультразвуковой стадии атеросклероза ГА, основанной на высоте АСБ [5]. Проведя сравнительный анализ высоты 100 АСБ в нисходящем отделе ГА, измеренных при 2D-, 3D-ЧПЭхоКГ и МСКТ, мы с помощью анализа Бленда–Альтмана и корреляционного анализа Спирмена установили, что 2D-режим при ЧПЭхоКГ уступает в точности количественной оценки АСБ, как 3D-режиму при ЧПЭхоКГ, так и МСКТ. При этом наименьшая средняя разность (bias) между высотой АСБ в 3D- при ЧПЭхоКГ и МСКТ и наиболее высокий коэффициент корреляции между ними свидетельствуют, что трехмерная реконструкция при ЧПЭхоКГ наиболее объективно отражает количественные характеристики АСБ в ГА. Для нас это не было удивительным, так как мультипланарная реконструкция АСБ в ГА при МСКТ в целом отражает принцип получения стереоструктуры трехмерных изображений при ЧПЭхоКГ. В связи с этим столь высокая и статистически значимая корреляция высоты АСБ при 3D-ЧПЭхоКГ и МСКТ была ожидаема нами.

Результаты сравнительного анализа высоты АСБ в ГА с помощью известных и новых ультразвуковых технологий, а также МСКТ, полученные в этом исследовании, существенно дополняют наши предыдущие данные [1] и имеют большое практическое значение, так как в связи с широким внедрением в последние годы в диагностический процесс 3D-ЧПЭхоКГ следует вполне обоснованно рекомендовать выполнение трехмерной реконструкции АСБ в ГА при скрининговых исследованиях и динамическом наблюдении с целью более точной диагностики ультразвуковой стадии атеросклероза ГА.

Ограничения

Мы исключали из анализа отдельные АСБ, расположенные по задней стенке нисходящего отдела ГА, которые визуализировались фрагментарно в 2D-режиме из-за ограничений размеров сектора ультразвукового среза. Крупные АСБ со сложной геометрией в части случаев были визуализированы не в полном объеме в 3D-режиме из-за ограничений аксиальной разрешающей способности матрицы ультразвукового датчика.

Заключение

Трехмерная реконструкция атеросклеротических бляшек в грудном отделе аорты при чреспищеводной

эхокардиографии является более точным, чем двухмерное исследование, инструментом количественной оценки атеросклеротических бляшек и диагностики ультразвуковой стадии атеросклеротических изменений грудного отдела аорты.

Финансирование отсутствует.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 20.03.2023

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vrublevsky A.V., Boshchenko A.A., Bogdanov Yu.I. Possibilities and limitations of three-dimensional transesophageal echocardiography in the diagnosis of thoracic aorta atherosclerosis. *Kardiologiya*. 2019;59(10S):22–30. [Russian: Врублевский А.В., Бощенко А.А., Богданов Ю.И. Возможности и ограничения трехмерной чреспищеводной эхокардиографии в диагностике атеросклероза грудного отдела аорты. *Кардиология*. 2019;59(10S):22–30]. DOI: 10.18087/cardio.n692
2. Weissler-Snir A, Greenberg G, Shapira Y, Weisenberg D, Monaker D, Nevzorov R et al. Transoesophageal echocardiography of aortic atherosclerosis: the additive value of three-dimensional over two-dimensional imaging. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*. 2015;16(4):389–94. DOI: 10.1093/ehjci/jeu195
3. Isselbacher EM, Preventza O, Hamilton Black J, Augoustides JG, Beck AW, Bolen MA et al. 2022 ACC/AHA Guideline for the Diagnosis and Management of Aortic Disease: A Report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*. 2022;146(24):e334–482. DOI: 10.1161/CIR.0000000000001106
4. Erbel R, Aboyans V, Boileau C, Bossone E, Bartolomeo R, Eggebrecht H et al. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: Document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of the European Society of Cardiology (ESC). *European Heart Journal*. 2014;35(41):2873–926. DOI: 10.1093/eurheartj/ehu281
5. Goldstein SA, Evangelista A, Abbara S, Arai A, Asch FM, Badano LP et al. Multimodality Imaging of Diseases of the Thoracic Aorta in Adults: From the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2015;28(2):119–82. DOI: 10.1016/j.echo.2014.11.015