

DOI: 10.24835/1607-0763-2018-3-33-48

Мультиспиральная компьютерная томография сердца: оптимизация протокола сканирования при проведении неинвазивного картирования сердца перед катетерной абляцией фибрилляции предсердий

Каштанова Н.Ю.* , Груздев И.С., Кондратьев Е.В.,
Артюхина Е.А., Яшков М.В., Ревিশвили А.Ш.

ФГБУ «НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского» Минздрава России, Москва, Россия

Cardiac multispiral computed tomography: optimization of examination's protocol for non-invasive cardiac mapping before catheter ablation of atrial fibrillation

Kashtanova N.Yu.* , Gruzdev I.S., Kondrat'ev E.V.,
Artyukhina E.A., Yashkov M.V., Revishvili A.Sh.

A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow, Russia

Цель исследования: разработать оптимальную методику сканирования для мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) сердца при проведении неинвазивного картирования сердца (НКС) перед катетерной абляцией фибрилляции предсердий.

Материал и методы. В исследование включено 94 случая фибрилляции предсердий (60 мужчин и 34 женщины, средний возраст $58,3 \pm 10$ лет, средний индекс массы тела $29,9 \pm 4,8$ кг/м²). Пациенты разделены на 2 группы: 1-я (n = 80) – МСКТ выполнялась по специальному протоколу для НКС со стандартным контрастированием (сингл-болюс), 2-я (n = 14) – МСКТ сердца выполнялась по модифицированной методике предболюса. Для выявления тромбов в ушке левого предсердия (ЛП) выполнялась низкодозовая отсроченная фаза контрастирования. Проанализированы индивидуальные особенности легочных вен (ЛВ), ЛП и соседних структур. Проведена оценка контрастирования камер сердца по результатам измерения средней плотности и гомогенности заполнения контрастом.

Результаты. Справа типичная анатомия ЛВ встречалась в 93,6%, впадение средней вены отдельным стволом – в 5,3%, отсутствие формирования крупных стволов – в 1,1%. Слева типичное впадение ЛВ отмече-

но в 57,4% случаев, вестибуль ЛВ – в 18,1%, общий ствол – в 24,5%. Увеличение объема ЛП определялось у 96,8% пациентов. В 6 случаях по МСКТ был заподозрен тромбоз ушка ЛП, исследование было дополнено отсроченной фазой, в 2 случаях дефекты контрастирования сохранялись; далее тромбоз подтвержден при чреспищеводной эхокардиографии. При протоколе сингл-болюс отмечалось наилучшее контрастирование левых отделов сердца (средняя плотность крови в ЛП 296 ± 84 HU, в левом желудочке (ЛЖ) 286 ± 83 HU), но неудовлетворительное контрастирование и недостаточная гомогенность правых отделов (средняя плотность крови в правом предсердии (ПП) 179 ± 97 HU, правом желудочке (ПЖ) 176 ± 80 HU). При использовании модифицированного протокола контрастирования с предварительным болюсом контрастного средства отмечалось оптимальное контрастирование и гомогенность всех отделов сердца (средняя плотность крови в ЛП = 259 ± 31 HU, ЛЖ = 286 ± 83 HU, ПП = 270 ± 92 HU, ПЖ = 253 ± 80 HU). Это позволило построить более точные эпи-эндокардиальные модели сердца при неинвазивном картировании для анализа высокочастотной драйверной активности и выбора тактики интервенционного лечения.



Заключение. МСКТ с использованием стандартного протокола контрастирования предоставляет детальную информацию об анатомии и диаметре устьев ЛВ, размерах ЛП, наличии внутрисердечных образований (в том числе тромботических масс), анатомии соседних структур. Использование модифицированного протокола контрастирования с введением предварительного болюса контрастного средства позволяет получить оптимальное контрастирование и построить с высокой точностью эпи-эндокардиальные модели как правых, так и левых отделов сердца в целях неинвазивного картирования.

Ключевые слова: МСКТ, левое предсердие, радиочастотная абляция, неинвазивное картирование сердца, фибрилляция предсердий.

Ссылка для цитирования: Каштанова Н.Ю., Груздев И.С., Кондратьев Е.В., Артюхина Е.А., Яшков М.В., Ревিশвили А.Ш. Мультиспиральная компьютерная томография сердца: оптимизация протокола сканирования при проведении неинвазивного картирования сердца перед катетерной абляцией фибрилляции предсердий. *Медицинская визуализация*. 2018; 22 (3): 33–48. DOI: 10.24835/1607-0763-2018-3-33-48.

Purpose: to develop optimal technique of cardiac multi-detector computed tomography (MDCT) before noninvasive cardiac mapping before catheter ablation of atrial fibrillation.

Materials and methods. 94 patients with atrial fibrillation were included in study (60 males, 34 females; mean age = 58.3 ± 10 years; mean body mass index (BMI) = 29.9 ± 4.8). The patients were divided into 2 groups: I – 80 patients who underwent computer tomography (CT)-protocol for noninvasive cardiac mapping with standard contrast enhancement (single-bolus protocol); II – 14 patients who underwent CT with modified contrast enhancement technique with preliminary contrast injection (prebolus). To detect thrombotic masses in the left auricle the low-dose delayed phase was performed. The analysis of individual features of pulmonary veins, left atrium and adjacent structures was performed. Contrast enhancement of heart chambers was assessed by mean attenuation and homogeneity measurement.

Results and discussion. The typical anatomy of the right pulmonary veins was in 93.6% of cases; right middle pulmonary vein in 5.3%; right segmental veins in 1.1%. The typical anatomy at the left side was in 57.4% of cases; common vestibulum of the left pulmonary veins in 18.1%; common left trunk in 24.5%. Volume enlargement of the left atrium (LA) was in 96.8% of patients. In 6 cases left auricle thrombosis was suspected, low-dose delayed phase was performed. In 2 cases filling defects in left auricle persisted, thrombosis was proved by transesophageal echocardiography. With the single-bolus injection protocol the contrast enhancement of left heart chambers was best (mean attenuation of blood in LA = 296 ± 84 HU, in left ventricle (LV) = 286 ± 83 HU), but the contrast enhancement and homogeneity of the chambers were insufficient (mean attenuation of blood in right atrium (RA) = 179 ± 97 HU, in right ventricle (RV) = 176 ± 80 HU). With prebolus protocol the contrast enhancement and homogeneity of all chambers were optimal (mean attenuation of blood in LA = 259 ± 31 HU, in LV = 286 ± 83 HU, in RA = 270 ± 92 HU, in RV = 253 ± 80 HU). This allowed making more accurate epi-endocardial heart models in the noninvasive cardiac mapping and operation planning.

Conclusion. MDCT with standard contrast enhancement protocol provides detailed information about anatomy and size of pulmonary veins, the left atrium volume, the presence of intracardiac masses (including thrombotic masses), the anatomy of adjacent structures. The modified contrast enhancement technique with preliminary contrast injection (prebolus) allows to receive optimal contrast enhancement of all heart chambers and to make high accurate epi-endocardial models of both the right and left sides of the heart in case of noninvasive cardiac mapping.

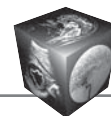
Key words: MDCT, left atrium, radiofrequency ablation, noninvasive cardiac mapping, atrial fibrillation.

Recommended citation: Kashtanova N.Yu., Gruzdev I.S., Kondrat'ev E.V., Artyukhina E.A., Yashkov M.V., Revishvili A.Sh. Cardiac multispiral computed tomography: optimization of examination's protocol for non-invasive cardiac mapping before catheter ablation of atrial fibrillation. *Medical Visualization*. 2018; 22 (3): 33–48. DOI: 10.24835/1607-0763-2018-3-33-48.

Введение

Нарушения сердечного ритма являются актуальной темой в современной кардиологии. Фибрилляция предсердий (ФП) является наиболее распространенным нарушением ритма сердца [1, 2], причем риск возникновения ФП повышается с увеличением возраста пациента. Согласно данным Фремингемского исследования, в Европе у каждого шестого пациента старше 40 лет наблюдается высокий риск развития ФП, а при наличии застойной сердечной недостаточности или инфаркта миокарда – у каждого четвертого [3]. К 2060 г. ожидается увеличение количества пациентов с ФП в 2 раза [4, 5]. В связи с изменениями внутрисердечной гемодинамики ФП ассоциируется с повышенным риском формирования внутрисердечного тромбоза (в частности, в полости ушка левого предсердия (ЛП)), а в дальнейшем является источником до 30% ишемических инсультов за счет тромбоэмболии [6, 7]. Другие аритмии, связанные с нарушением процессов возбудимости кардиомиоцитов (в частности, экстрасистолия и пароксизмальная тахикардия), в свою очередь также могут приводить к структурным изменениям стенок сердца и нарушению системной гемодинамики, что не только проявляется субъективным дискомфортом и снижением качества жизни пациентов, но и является фактором риска внезапной сердечной смерти [8]. Продолжительная антиаритмическая и антикоагулянтная терапия не всегда является комфортной и эффективной для пациента. Отсюда вытекает значимость активного поиска наиболее адекватного метода лечения симптомных и рефрактерных к медикаментозному лечению аритмий.

За последние три десятилетия абляция источников аритмий с использованием стандартных



методик, минимально инвазивных или гибридных технологий перешла из разряда экспериментальной процедуры в лечебную [9]. Катетерная абляция является методом терапии первой линии в лечении различных нарушений ритма сердца, таких как атриовентрикулярная re-entry тахикардия, тахикардии, ассоциированные с дополнительными предсердно-желудочковыми соединениями, желудочковые тахикардии, фибрилляция и трепетание предсердий. Целью процедуры является достижение конкретных областей миокарда и создание достаточно протяженных линий абляции или точечных воздействий на субстрат аритмии [9]. На сегодняшний день наиболее часто выполняемой катетерной процедурой является абляция ФП [10].

Согласно отечественным и зарубежным клиническим рекомендациям по диагностике и лечению ФП, стандартное обследование перед процедурой катетерной абляции включает:

- регистрацию ЭКГ в 12 отведениях и/или холтеровское мониторирование;
- эхокардиографию (ЭхоКГ) для исключения структурных заболеваний сердца;
- компьютерную томографию (КТ);
- чреспищеводную ЭхоКГ (ЧП-ЭхоКГ) за 24–48 ч до операции для исключения тромбоза левых отделов сердца [2, 9–13].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) с отсроченным контрастным усилением может быть добавлена к стандартному протоколу обследования для оценки степени фиброза предсердий, выраженность которого коррелирует с риском рецидива ФП после операции [14, 15].

Для планирования линий абляции были созданы системы интраоперационного электроанатомического картирования, которые позволяют с помощью магнитного или электрического поля производить анатомическую реконструкцию камер сердца в трехмерном изображении, создавать амплитудные, активационные карты на основе эндокардиальных данных для поиска и прицельного устранения аритмии. При этом стали возможными более точное картирование и абляция аритмогенного субстрата [9].

В качестве дополнительной методики на базе Научного центра сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева был разработан диагностический комплекс Амикард 01К для дооперационного неинвазивного эпикардиального и эндокардиального картирования сердца, который позволяет получить электрофизиологические данные, сопоставимые с результатами внутрисердечного электрофизиологического исследования [16, 17]. Данное картирование включает в себя регистра-

цию униполярных электрокардиосигналов (до 224 отведений) с поверхности грудной клетки и в 6 стандартных отведениях, КТ или МРТ грудной клетки и области сердца, проведение вычислительной обработки и анализа данных многоканальной регистрации ЭКГ и томографических данных. В дальнейшем строятся модели сердца с цветовым отображением на поверхности электрофизиологических процессов, на основании которых проводится анализ аритмии [18]. Результаты поверхностного картирования позволяют быстрее найти область аритмогенной активности и с минимальным временем рентгеноскопии и применяемых электродов устранить данный очаг, что уменьшает время проведения вмешательства в целом, снижает лучевую нагрузку на пациента и медицинский персонал. Расширенная топическая диагностика аритмии снижает риск рецидива после операции и может влиять на тактику оперативного вмешательства [19].

Ввиду того что зоны аритмогенной активности могут быть расположены в любом отделе миокарда, важным элементом протокола КТ для неинвазивного картирования сердца (НКС) является необходимость получения достаточного и однородного контрастирования полости левых и правых отделов сердца. На большинстве используемых в клиниках компьютерных томографах невозможно выполнить сканирование сердца за один сердечный цикл, отсюда возникает проблема гомогенного контрастного усиления правого предсердия (ПП) и правого желудочка (ПЖ) ввиду постоянного поступления в полость ПП неоконтрастированной крови из нижней полой вены (НПВ) и гиперконтрастированной – из верхней полой вены (ВПВ). Нами не было найдено данных, посвященных решению этой проблемы при анализе мировой научной литературы. Это определяет необходимость детального рассмотрения результатов наиболее распространенных протоколов контрастирования сердца в рамках НКС и их модификации.

Цель исследования

Разработать оптимальную методику сканирования для мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) сердца при проведении неинвазивного картирования, а также оценить возможности МСКТ сердца со стандартными параметрами контрастного усиления перед катетерной абляцией ФП в правых и левых отделах сердца.

Материал и методы

Работа выполнялась базе ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского”. В исследование включено 94 пациента с ФП. Среди пациентов преобла-

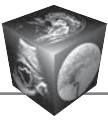


Таблица 1. Характеристика групп пациентов

Показатель	Общее количество	1-я группа	2-я группа
Число пациентов	94	80	14
Возраст, годы	58,3 ± 10	58 ± 9,9	59,8 ± 10,7
Число пациентов старше 40 лет	91 (96,8%)	77 (96,3%)	14 (100%)
Распределение по полу:			
количество мужчин	60 (63,8%)	52 (65%)	8 (57,1%)
количество женщин	34 (36,2%)	28 (35%)	6 (42,9%)
ИМТ, кг/м ²	29,9	30,2	28,6

Примечание. ИМТ – индекс массы тела.

дали мужчины: 60 (63,8%) пациентов, средний возраст 58,3 ± 10 лет, средний индекс массы тела 29 ± 4,8 кг/м². Пациенты были разделены на 2 группы, распределение демографических показателей было сходным (табл. 1).

В 1-ю группу включено 80 пациентов, которым была выполнена МСКТ по специальному протоколу для НКС сердца в период с сентября 2016 г. по март 2018 г. Перед томографией пациенту выполнялась синхронная регистрация ЭКГ в 224 однополюсных отведениях с поверхности грудной клетки

и 6 стандартных отведений от конечностей. Далее, не снимая электродов, в том же положении рук, что и при регистрации ЭКГ, на томографах Philips Brilliance 64 и Philips Ingenuity 64 проводилась МСКТ. После получения сканограммы в двух проекциях с длинным полем обзора (от надключичной области до мезогастрия) выполнялось планирование КТ в двух режимах: 1) бесконтрастное исследование по низкодозовому протоколу с захватом всех электродов поверхностного картирования без ЭКГ-синхронизации (рис. 1); 2) томо-

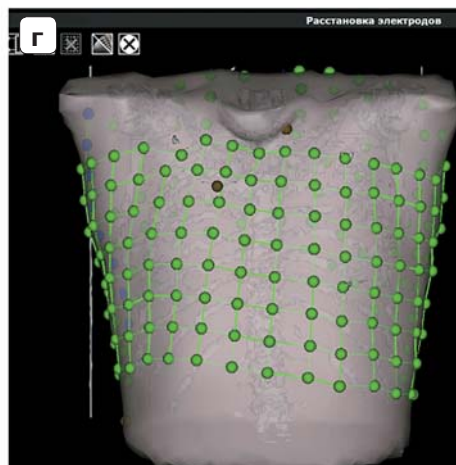
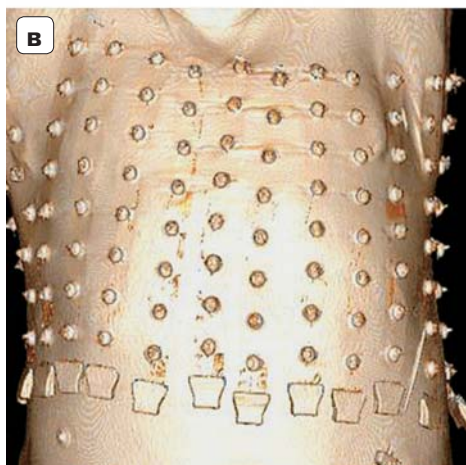
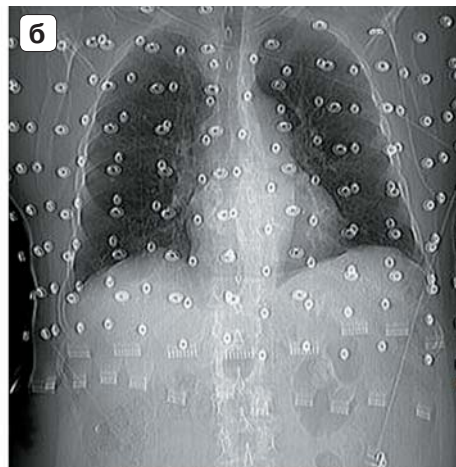
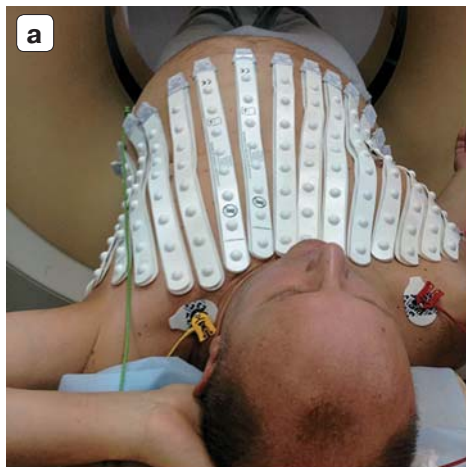


Рис. 1. МСКТ при неинвазивном электрофизиологическом исследовании сердца. а – процесс укладки пациента: положение рук за головой, аналогично положению во время ЭКГ-картирования. Внешний вид ЭКГ-электродов; б – сканограмма; в – бесконтрастное исследование органов грудной клетки с захватом всех электродов, 3D-реконструкция; г – этап расстановки электродов при неинвазивном картировании.

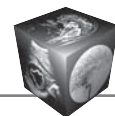


Таблица 2. Протоколы контрастного усиления, используемые в исследовании

Группа	КС	Пред-болюс	Тип контрастирования	Количество КС	Количество физ. р-ра, мл	Позиция болюс-трекера	Порог, HU	Задержка начала сканирования, с	Скорость введения КС, мл/с
1-я	Оптирей 350	Нет	Синг-болюс	1–1,5 мл/кг	30	Восходящая аорта	150	4,2	3,5–4
2-я	Омнипак 350	70 мл, пауза после введения 50–60 с	Сплит-болюс	80 мл	27	Восходящая аорта	150	4,2	3,5–4

Примечание. Здесь и в табл. 3: физ. р-р. – физиологический раствор.

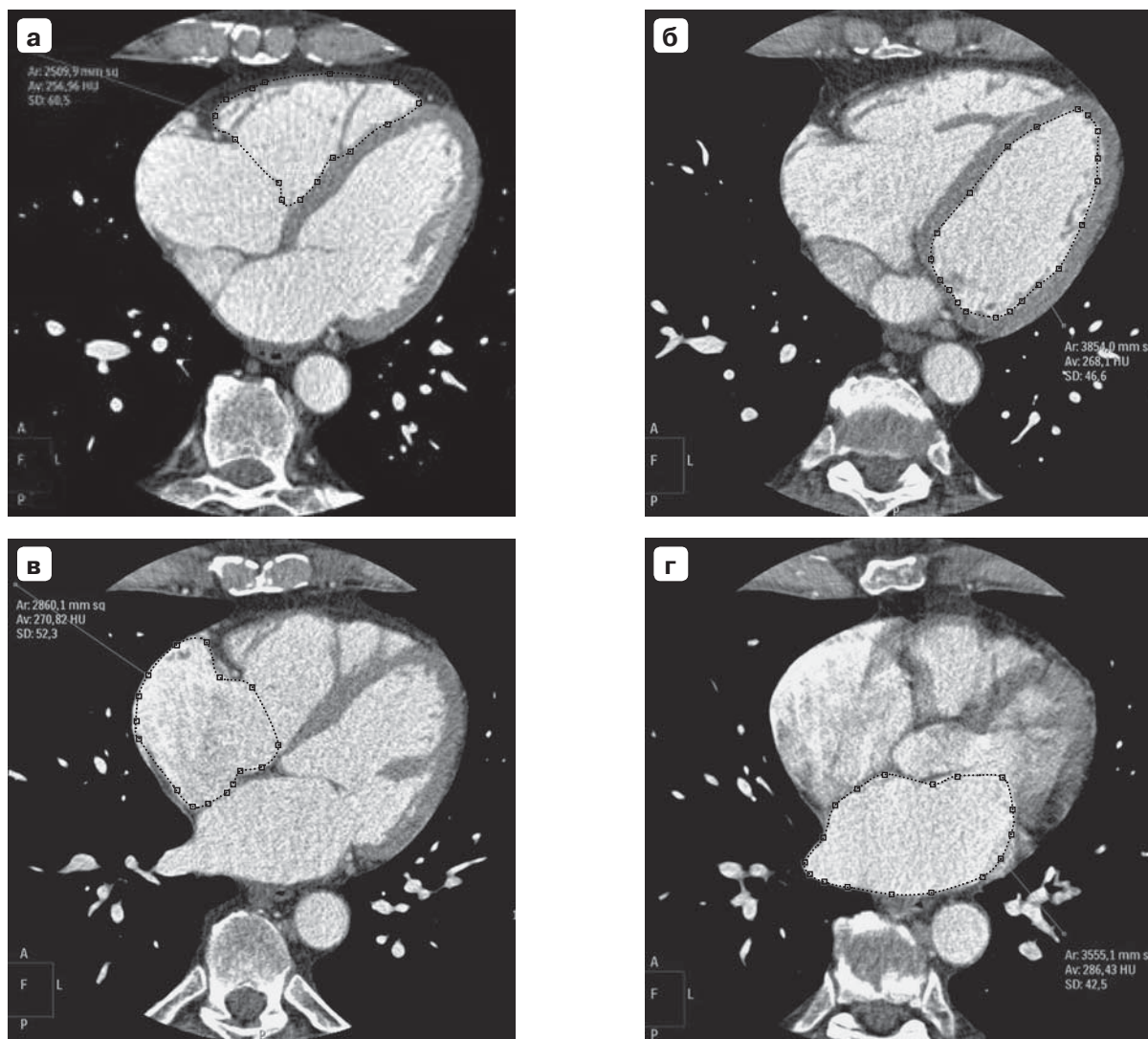


Рис. 2. МСКТ. Измерение плотности крови в каждой камере сердца на фоне контрастного усиления. Пример выделения области интереса в правом желудочке (а), левом желудочке (б), правом предсердии (в), левом предсердии (г).



графия области сердца (от устьев брахиоцефальных артерий до диафрагмы) с внутривенным контрастным усилением и ЭКГ-синхронизацией. Применялось контрастное средство (КС) Оптирей с концентрацией 350 мг йода/мл, количество КС 1–1,5 мл на 1 кг массы тела, 30 мл физиологического раствора, скорость введения 3,5–4 мл/с; локатор устанавливался на восходящую аорту, порог достижения контрастирования 150 HU, минимальная задержка начала сканирования от достижения порога 4,2 с. Результаты МСКТ данной группы пациентов оценивались ретроспективно.

Пациентам 2-й группы (14 человек) выполнялась МСКТ сердца с внутривенным контрастным усилением от устьев брахиоцефальных артерий до диафрагмы с ЭКГ-синхронизацией. Применялось КС Омнипак с концентрацией 350 мг йода/мл. До начала основного контрастирования использовался предварительный болюс КС в объеме 70 мл, далее после задержки 50–60 с вводилось 80 мл КС по методике сплит-болюс: 2/3 объема – неразведенное КС, затем 1/3 в разведении с физиологическим раствором в пропорции 1 : 1; локатор устанавливался на восходящую аорту, порог 150 HU, минимальная задержка начала сканирования от достижения порога 4,2 с, скорость введения 3,5–4 мл/с. У 3 пациентов исследование было дополнено топографическими ориентирами ЭКГ-меток аналогично 1-й группе. В табл. 2 объединены параметры контрастирования обеих групп.

При подозрении на наличие тромботических масс в ушке левого сердца (ЛП) стандартное исследование дополнялось низкодозовой отсроченной фазой контрастного усиления через 90 с после артериальной фазы.

Последующая обработка 2D-изображений и построение 3D-реконструкций проводились на рабочей станции Philips Brilliance Portal. Оценка контрастирования правых и левых отделов сердца при вышеописанных типах контрастирования производилась качественно (визуальная оценка однородности заполнения контрастом) и количественно (измерение плотности содержимого каждой камеры сердца на трех уровнях (рис. 2)).

Статистическая обработка данных производилась при помощи программы IBM SPSS Statistics v.22.

Результаты и их обсуждение

Анатомия легочных вен

Конечной целью радиочастотной абляции при ФП является изоляция всех легочных вен (ЛВ), так как наиболее часто триггер и субстрат аритмии расположены в области их устьев [10, 11]. Источники фокусных наджелудочковых тахикар-

дий в 2/3 случаев локализованы в ПП (терминальный гребень, кольцо трикуспидального клапана, устье коронарного синуса, перигленоидальные зоны) и только в 1/3 ЛП (устья ЛВ и кольцо митрального клапана), крайне редко они могут находиться в ушке ЛП или ПП, в таких случаях абляция проводится в этих зонах [10]. Знание индивидуальных особенностей впадения ЛВ в ЛП (количество и анатомическая конфигурация), диаметра устьев ЛВ позволяет выбрать более эффективную технологию устранения ФП [10, 12, 20, 21]. Типичным вариантом является наличие четырех ЛВ: правая верхняя (ПВЛВ), правая нижняя (ПНЛВ), левая верхняя (ЛВЛВ), левая нижняя (ЛНЛВ), которые впадают отдельными стволами в ЛП, причем устья верхней и нижней вены расположены на расстоянии друг от друга с обеих сторон [22]. В некоторых случаях происходит сближение устьев. Определенные трудности представляет разделение между вестибулом (наличие отдельных устьев ЛВ, но при невозможности измерения между ними стенки предсердия) и коротким общим стволом [22]. При формировании общего ствола протяженностью более 10 мм этот тип впадения ЛВ диагностируется без затруднений.

Что касается увеличения числа ЛВ, то наиболее часто встречается наличие трех вен справа за счет впадения средней вены в ЛП отдельным стволом, которая дренирует среднюю долю и, реже, верхушечный сегмент нижней доли [22–24]. Необходим внимательный анализ не только аксиальных томограмм, но и реконструкций в других проекциях и на 3D-реконструкциях, так как разделить впадение средней ЛВ собственным устьем от ее устьевого впадения в ПВЛВ бывает затруднительно [22, 25].

Согласно некоторым мировым данным, изменение числа ЛВ, а именно наличие трех и более венозных стволов либо одного, но более широкого венозного коллектора с одной стороны является фактором, предрасполагающим к поддержанию ФП.

В частности, в исследовании А.Ш. Ревишвили и соавт. сопоставлялись данные КТ-ангиографии ЛВ 350 пациентов с различными формами ФП и 53 пациентов без ФП [25]. При сравнении этих групп было выявлено, что в группе больных с ФП общий коллектор левых ЛВ (общий вестибуль и общий ствол) встречался чаще (10 и 11% соответственно), чем в группе сравнения (6 и 5% соответственно), также чаще у пациентов с ФП имелось три отдельных устья правых ЛВ (20% против 8%). У 3 (4%) пациентов из основной группы отмечалось впадение сегментарных вен (СВ) справа в ПНЛВ, в группе сравнения такой вариант не

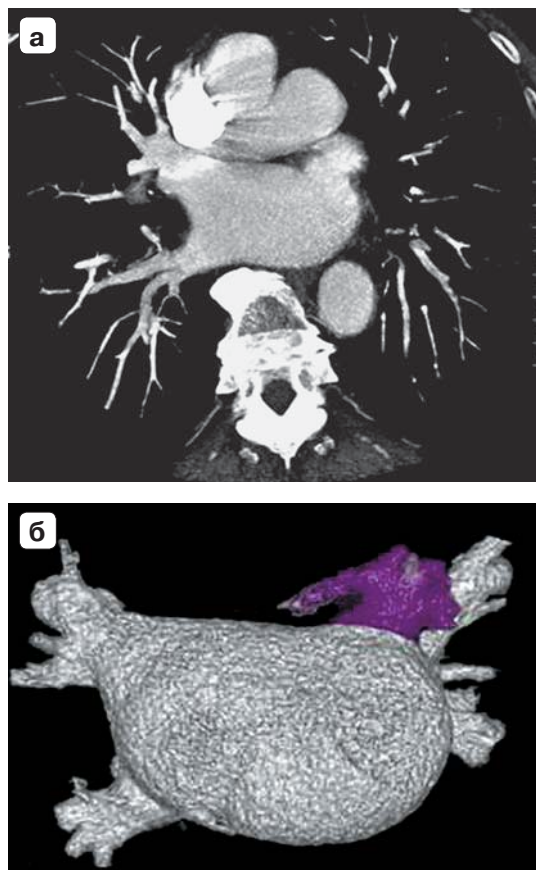
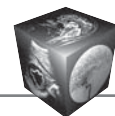


Рис. 3. МСКТ. Типичная анатомия легочных вен справа: правая верхняя и правая нижняя легочные вены впадают в левое предсердие отдельными стволами. а – мультипланарная реконструкция; б – 3D-реконструкция, вид с каудальной стороны.

встречался. В 10% случаев у пациентов с ФП наблюдалось раннее деление ПЛВ, т.е. правая СВ была расположена близко к ЛП. Сопоставление анатомических особенностей впадения ЛВ и данных электрофизиологическое исследование показало, что у пациентов, имеющих общий коллектор ЛВ, аритмогенная зона ФП локализовалась в устье общего ствола в 94% случаев, вестибуля – в 62% [25].

С целью определения вариантной анатомии числа ЛВ у жителей Саудовской Аравии А. Harbi и соавт. проанализировали результаты КТ-коронарографии 151 пациента, которым исследование выполнялось для исключения ишемической болезни сердца, недостаточности аортального клапана, инфекционного эндокардита и др. [24]. Справа у 130 (86%) из 151 пациента в ЛП открывались устья двух ЛВ, у 21 (13,9%) – трех ЛВ. Слева у 145 (96%) пациентов отмечалось наличие двух отдельных устьев ЛВ, у 2 (1,3%) пациентов определялся общий ствол верхней и нижней вен,

у 4 (2,6%) – три ствола ЛВ. У 16 из 26 пациентов с вариантной анатомией ЛВ по данным ЭКГ-мониторирования диагностированы различные наджелудочковые аритмии (самая частая – ФП, единичные случаи синусовой тахикардии и трепетания предсердий). Отмечена высокая корреляция между вариантной анатомией количества вен и наличием наджелудочковых аритмий ($p = 0,000$). Однако это исследование имеет значимое ограничение, так как не исследовалась встречаемость аритмий у лиц с типичной анатомией ЛВ [24].

В исследовании P. Cronin и соавт. [21], включившем 200 пациентов, были отмечены следующие особенности анатомии: у 11% средняя вена впадала непосредственно в ЛП, в 5,5% – в ПЛВ. Уменьшение числа ЛВ отмечалось за счет общего ствола вен слева у 6,5% пациентов, справа – у 1%.

В нашем исследовании МСКТ позволила с высокой точностью определить индивидуальную анатомию устьев ЛВ. Для более точного определения типов впадения ЛВ строились мультипланарные (MPR) и криволинейные реконструкции, а при необходимости дифференцировки вестибуля и короткого общего ствола использовался “эндорезжим”. Во всех случаях для облегчения восприятия клиницистами строились 3D-реконструкции.

Типичная анатомия ЛВ справа, при которой имеются два устья (рис. 3), разделенные стенкой предсердия, отмечалась в 88 (93,6%) случаях, в 13 случаях при типичном расположении вен отмечалось позднее впадение СВ непосредственно в устье ПЛВ. В 5 (5,3%) случаях СВ впадала в ЛП отдельным стволом, а в 1 (1,1%) случае отсутствовало формирование крупных стволов (впадение вен сегментов 1–3, 4–5, 6, 7–10 отдельными коллекторами в ЛП). Слева у 54 (57,4%) пациентов отмечалась типичная анатомия ЛВ, в 17 (18,1%) случаях – наличие вестибуля ЛВ, у 23 (24,5%) пациентов вены перед впадением в предсердие формировали общий ствол (рис. 4). В 1 случае отмечено отсутствие ствола ЛНЛВ, СВ сливались с ЛВЛВ в единый коллектор (рис. 5). Полученные результаты коррелируют с данными других исследований.

КТ дает детальную диагностическую информацию о других анатомических структурах: ход ВПВ, коронарного синуса (ряд авторов описывают наличие роторной активности в этих зонах), ход пищевода и контакт с устьями вен, так как при абляции есть риск его повреждения, локализации овальной ямки, а также других особенностях анатомии, которые могут влиять на проведение транс-септальной пункции [12, 26, 27]. В частности, в нашем исследовании в 2 случаях при КТ была обнаружена септа в полости ЛП (рис. 6).

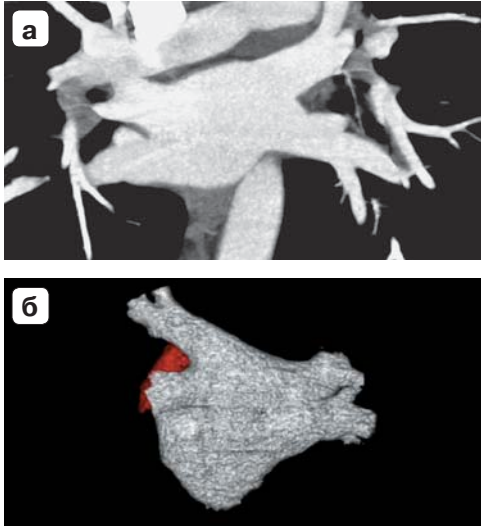


Рис. 4. МСКТ. Вестибуль легочных вен слева. а – мультипланарная реконструкция; б – 3D-реконструкция (вид с дорсальной стороны, ушко левого предсердия выделено цветом).

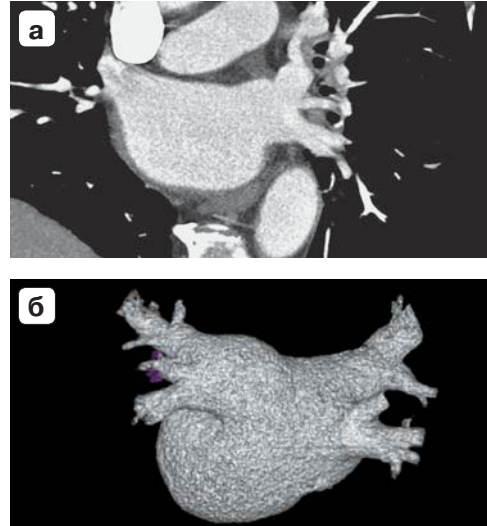


Рис. 5. МСКТ. Единый ствол легочных вен слева, отсутствие формирования ствола левой нижней легочной вены. а – мультипланарная реконструкция; б – 3D-реконструкция (вид с дорсальной стороны, ушко левого предсердия выделено цветом).

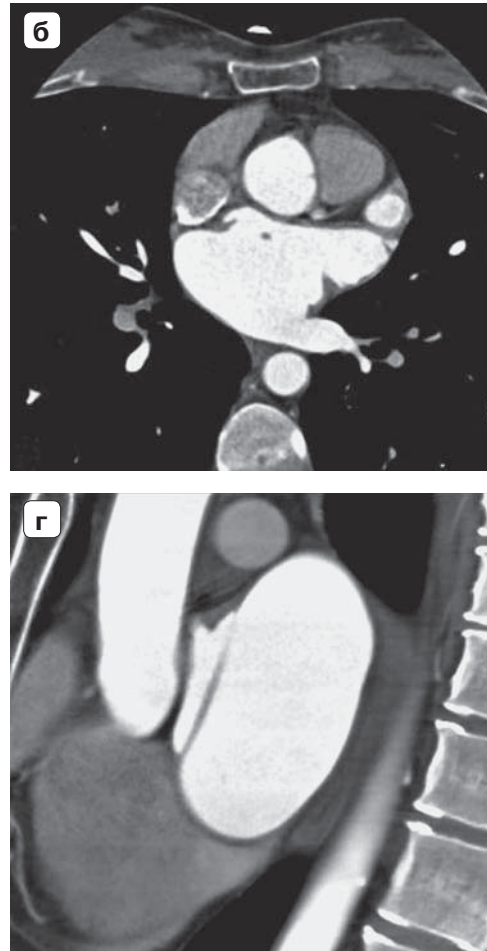
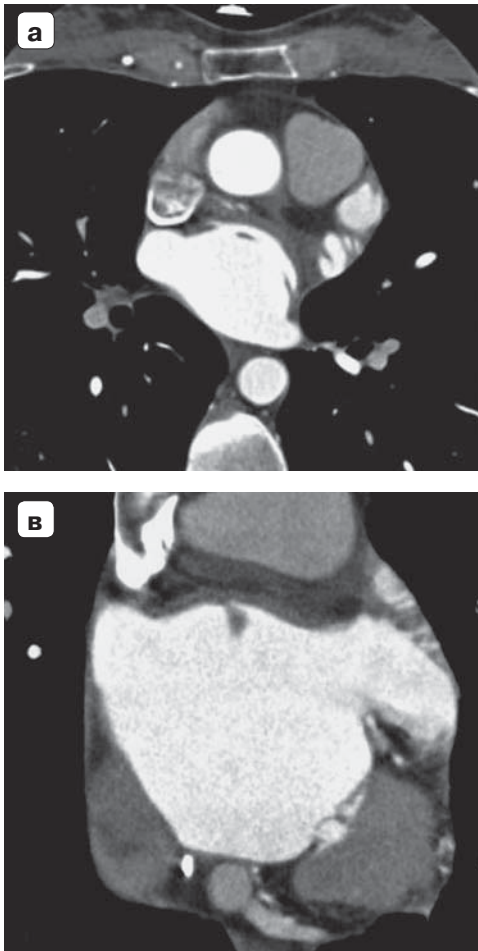
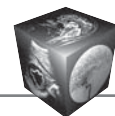


Рис. 6. МСКТ. На аксиальных (а, б), корональной (в) и сагитальной (г) реконструкциях в переднем отделе полости левого предсердия визуализируется дефект наполнения линейной формы, связанный со стенкой предсердия (септа).



Размеры левого предсердия

Одним из важных факторов поддержания ФП является увеличение размеров ЛП [19, 25, 28]. В частности, исследование В.И. Гуриной и соавт. показало, что в группах пациентов с изолированной ФП или ФП в сочетании с другими заболеваниями сердца показатели объема ЛП были значительно выше, чем в группе пациентов, у которых заболевания сердца не были обнаружены [29]. Выявлена значительная положительная корреляция показателей объема ЛП с наличием у пациента ФП (0,59, $p = 0,001$) [29]. В связи с этим в каждом случае мы проводили КТ-волюметрию ЛП. Результаты нашего исследования показали, что у 91 (96,8%) пациента объем ЛП превышал норму 82,9 мл (средний объем ЛП составил 138 мл). Практически в каждом случае увеличение ЛП сопровождалось дилатацией от одного до всех имеющихся устьев ЛВ. Опубликован ряд исследований, целью которых было определение среднего диаметра ЛВ и отклонений, на основании чего выводились условные нормы размеров ЛВ [21, 25, 30]. Несмотря на это, сформулированные нормы не могут восприниматься буквально, так как устья зачастую имеют не круглую, а овальную форму, а также их диаметр и форма могут несколько меняться в течение сердечного цикла [22].

Внутрисердечный тромбоз

Как уже было сказано ранее, ФП является фактором риска формирования тромбов в ЛП. “Золотым стандартом” диагностики данного осложнения является ЧП-ЭхоКГ, которая выполняется всем пациентам перед кардиоверсией, изоляцией ЛВ и другими инвазивными процедурами в ЛП и ушке [31, 32]. ЧП-ЭхоКГ является миниинвазивной и осложнения встречаются крайне редко, однако Американское общество эхокардиографии

рекомендует заменить ЧП-ЭхоКГ альтернативными методиками у пациентов с некоторыми заболеваниями пищевода и желудка, например при кровотечении, стриктуре, грыже, состоянии после оперативного вмешательства [33]. В 1,9% случаев процедура не может быть проведена по техническим причинам (трудности при поведении зонда), а в 0,88% – по причине отказа пациента [32]. В таких случаях прибегают к КТ. Согласно результатам метаанализа (19 исследований, 2955 пациентов), чувствительность и специфичность КТ в определении тромбоза ушка составляют 96 и 92%, а при добавлении в протокол отсроченной фазы контрастного усиления (через 90 с) достигают 100 и 99% соответственно [34]. На основании этого F. Pathan и соавт. рекомендуют выполнение ЧП-ЭхоКГ для исключения тромбоза ЛП только при противопоказаниях к контрастному усилению и неоднозначных результатах КТ. В остальных случаях КТ-ангиография является альтернативным методом, не уступающим по диагностическим возможностям ЧП-ЭхоКГ [32, 35].

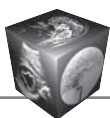
В нашем исследовании в 6 из 94 случаев в артериальную фазу отмечалась неоднородность контрастирования ушка ЛП, что могло указывать на наличие тромботических масс (рис. 7). При выполнении отсроченной фазы в 2 случаях дефекты контрастирования сохранялись, в дальнейшем тромбоз был подтвержден при ЧП-ЭхоКГ, что явилось временным противопоказанием к оперативному вмешательству. В остальных 4 случаях такой характер контрастирования формировался из-за повышенной трабекулярности ушка.

Неинвазивное картирование

Целью НКС является построение эпикардальных объемных моделей и “полых” эпи-эндокардиальных моделей предсердий или желу-



Рис. 7. МСКТ, артериальная фаза контрастного усиления. На аксиальной (а), корональной (б), сагиттальной (в) реконструкциях в верхушке ушка левого предсердия определяется дефект наполнения, соответствующий тромботическим массам.



дочков с использованием программного обеспечения комплекса Амикард 01К. Эпи-эндокардиальные модели позволяют получить более полную электрофизиологическую информацию, так как построение карт распространения возбуждения доступно на внешней и внутренней поверхности камер сердца, межжелудочковой и межпредсердной перегородках [18]. При программной обработке компьютерных томограмм первым этапом производится совмещение бесконтрастного исследования грудной клетки с электродами и данных многоканального ЭКГ-картирования. Далее полуавтоматическим методом удаляются внешние структуры и сосуды. В зависимости от формы аритмии сохраняется миокард предсердий либо желудочков – так получается эпикардиальная модель. Для визуализации поверхности эндокарда производится автоматическое выделение и удаление гиперконтрастного содержимого камер сердца. Финальным этапом проводится совмещение всех данных и получение моделей сердца с цветовым отображением на поверхности эндокарда и эпикарда электрофизиологических процессов: изохронные, изопотенциальные, активационные карты [18]. Таким образом, чем выше гомогенность и контрастность по отношению к миокарду содержимого камер сердца, тем быстрее и точнее получается "полая" эпи-эндокардиальная модель.

В зависимости от итоговой цели контрастирования в различных исследованиях параметры контрастирования отличаются некоторыми деталями (табл. 3). В нашем институте привычным протоколом контрастирования является введение КС из расчета 1 мл на 1 кг массы тела пациента, установление болюс-трекера на восходящую аорту (левый желудочек – ЛЖ), старт сканирования через 4,2 с после достижения плотности в аорте 150 НУ; скорость введения 3,5–4 мл/с. Данные

параметры использовались у пациентов 1-й группы. При этом типе контрастирования отмечалась наилучшая контрастность между миокардом и кровью в левых отделах сердца (средняя плотность крови в ЛП = 296 ± 84 НУ, в ЛЖ = 286 ± 83 НУ), содержимое гомогенное, на этом фоне хорошо визуализировались папиллярные мышцы, дополнительные септы, а также тромботические массы в ушке ЛП. Однако контрастирование правых отделов являлось неудовлетворительным: постоянное поступление неконтрастированной крови из НПВ и растягивание хвоста болюса КС в ВПВ приводило к значительной негомогенности содержимого камер (рис. 8, а), к тому же значительная часть КС успевала покинуть правые отделы (средняя плотность крови в ПП = 179 ± 97 НУ, в ПЖ = 176 ± 80 НУ). В дальнейшем при построении эпи-эндокардиальной модели сердца границы эндокарда ПП и ПЖ выделялись неточно. Выделение эндокарда в моделях правых отделов сердца вручную требовало больше времени, чем в левых.

При анализе мировой литературы нами не было найдено исследований, в которых отдельное внимание уделялось бы поиску способов улучшения контрастирования правых отделов сердца. Для решения этой задачи нами было предложено использование предварительного болюса КС, который вводился за 50–60 с до основной порции КС. Данное время достаточно для рециркуляции предболюса и повышения контрастности НПВ. Введение основной порции КС по методике сплит-болюса позволило удлинить время введения КС для предотвращения его вымывания из правых отделов, а также минимизировать артефакты от ВПВ. При данном типе контрастирования отмечалось повышение контрастности правых отделов сердца (средняя плотность крови в ПП = 270 ± 92 НУ, в ПЖ = 253 ± 80 НУ), гомогенность достига-

Таблица 3. Протоколы контрастного усиления при КТ-ангиографии левого предсердия и легочных вен (данные мировых исследований) [12, 21, 25, 35–38]

Автор, год публикации	Цель исследования	КС	Количество КС, мл	Количество физ. р-ра, мл	Позиция болюс-трекера	Задержка начала сканирования, с	Скорость введения КС, мл/с
А.Ш. Ревшвили, 2006	ЛП	Омнипак 300	70–100	–	–	16–26	2
P. Cronin, 2007	ЛП	Омнипак 300	120–150	–	–	30	4
Y.A. Chen, 2014	Коронарный синус	–	60–105	20	Нисходящая аорта	4	4–7
K.C. Bilchick, 2016	ЛП	–	60	–	ЛП	4	
S. Liddy, 2017	ЛП	Йопамидол 370	70	30	ЛП	4	5
K. Kaseno, 2018	ЛП	–	100	–	–	–	3
W. Mosleh, 2018	ЛП	Омнипак 350	70	50	Нисходящая аорта	–	6

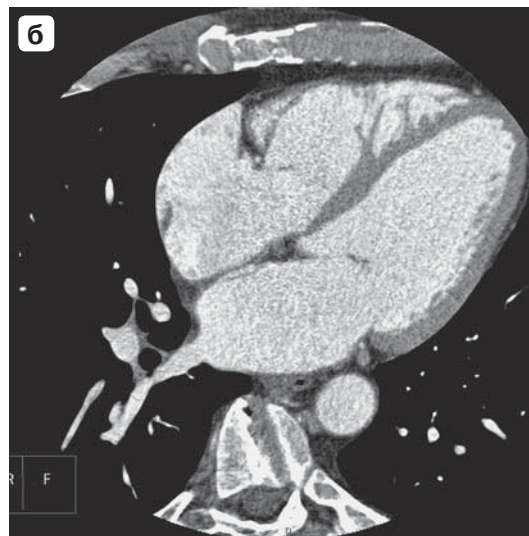
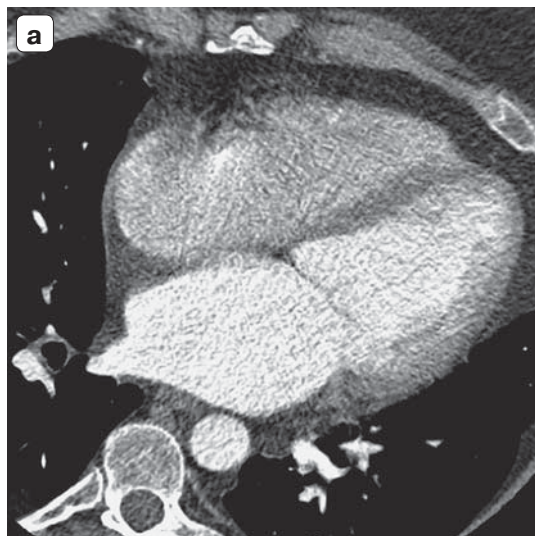
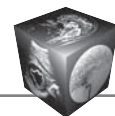


Рис. 8. МСКТ, артериальная фаза контрастного усиления. а – при стандартном протоколе контрастирования отмечается гомогенное контрастирование левых отделов сердца, справа гетерогенность за счет поступления неконтрастированной крови из НПВ и “хвоста” болюса из ВПВ; б – при использовании предварительного болюса контрастного средства на момент исследования определяется гомогенное контрастирование всех камер сердца.

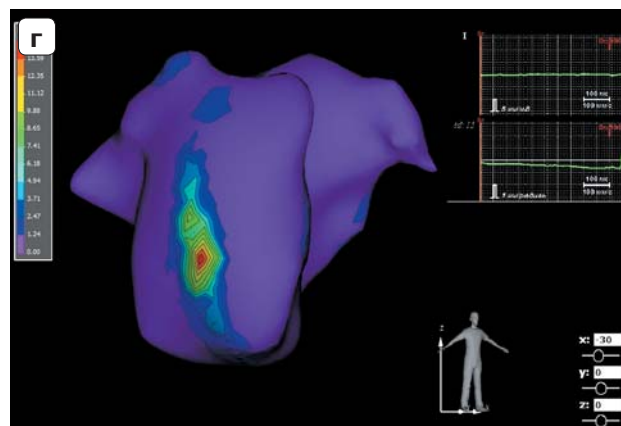
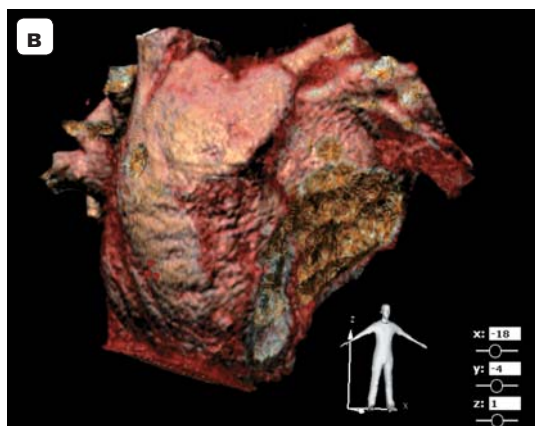
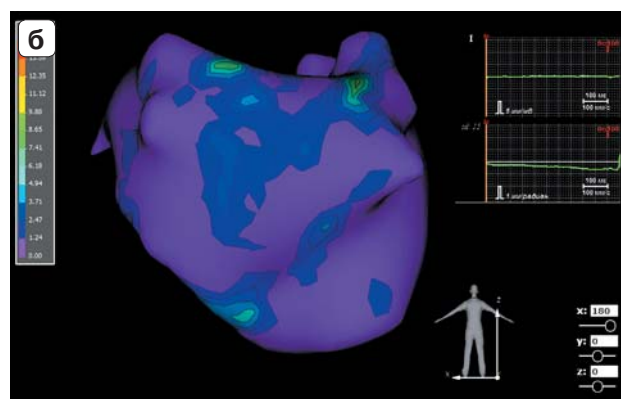
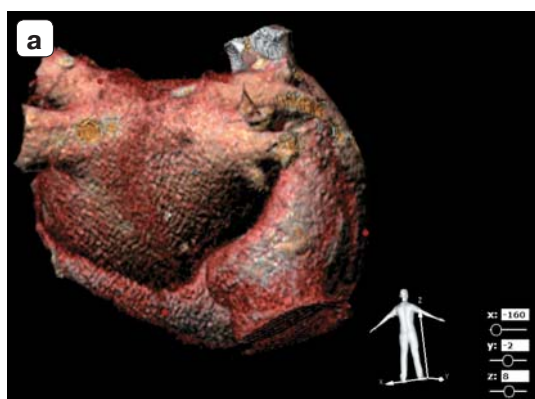


Рис. 9. Пример неинвазивного картирования сердца: объемные эпикардиальные модели предсердий (а – левого, в – правого) и фазовые карты высокочастотной драйверной активности на поверхности модели левого (б) и правого (г) предсердий.

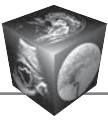


Таблица 4. Данные измерений параметров контрастирования камер сердца

Уровень измерения	Группа	Тип контрастирования	Количество пациентов	Среднее значение, HU	Стандартное отклонение	Средне-квадратичная ошибка среднего
ЛП	1-я	Стандартное	80	296	84	9
	2-я	С предболюсом	14	259	31	8
ЛЖ	1-я	Стандартное	80	286	83	9
	2-я	С предболюсом	14	253	27	7
ПП	1-я	Стандартное	80	179	98	11
	2-я	С предболюсом	14	270	92	25
ПЖ	1-я	Стандартное	80	176	80	9
	2-я	С предболюсом	14	253	80	21

лась за счет смешивания в полости крови из систем ВПВ и НПВ примерно одинаковой плотности (рис. 8, б); также отмечалось достаточное и однородное заполнение контрастом левых отделов (средняя плотность крови в ЛП = 259 ± 31 HU, в ЛЖ = 286 ± 83 HU). Данные измерений параметров обеих групп объединены в табл. 4. Трех пациентам в дальнейшем было проведено НКС с использованием комплекса Амикард 01К (рис. 9). Отмечалось повышение качества объемных моделей, а также уменьшение времени, затрачиваемого на их построение.

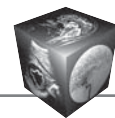
Заключение

МКСТ с использованием стандартного протокола контрастирования играет важную роль при интервенционном лечении ФП, предоставляя детальную информацию об анатомии и диаметре устьев ЛВ, размерах ЛП, наличии внутрисердечных образований, анатомии соседних структур. Особенно важно добавление отсроченной фазы контрастного усиления у пациентов с ФП для исключения тромбоза левых отделов сердца. При проведении НКС стандартный протокол контрастирования позволяет с высокой точностью полуавтоматическим методом построить эпи-эндокардиальные модели ЛП и ЛЖ.

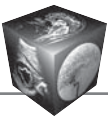
Так как в настоящее время является актуальным поиск и устранение высокочастотной драйверной активности при ФП не только в ЛП, но и в ПП, модифицированная методика контрастного усиления с использованием предварительного болюса может быть использована для улучшения визуализации правых отделов сердца.

Список литературы

1. Chugh S.S., Havmoeller R., Narayanan K., Singh D., Rienstra M., Benjamin E.J., Gillum R.F., Kim Y.H., McAnulty J.H. Jr, Zheng Z.J., Forouzanfar M.H., Naghavi M., Mensah G.A., Ezzati M., Murray C.J. World wide epidemiology of atrial fibrillation: a Global Burden of Disease 2010 Study. *Circulation*. 2014; 129: 837–847.
2. Kirchhof P., Benussi S., Kotecha D., Ahlsson A., Atar D., Casadei B., Castella M., Diener H.C., Heidbuchel H., Hendriks J., Hindricks G., Manolis A.S., Oldgren J., Popescu B.A., Schotten U., Van Putte B., Vardas P. ESC Scientific Document Group. 2016 ESC Guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration with EACTS. *Eur. Heart J.* 2016; 37: 2893–2962. DOI: 10.1093/eurheartj/ehw210.
3. Lloyd-Jones D.M., Wang T.J., Leip E.P., Larson M.G., Levy D., Vasan R.S., D'Agostino R.B., Massaro J.M., Beiser A., Wolf P.A., Benjamin E.J. Lifetime risk for development of atrial fibrillation: the Framingham Heart Study. *Circulation*. 2004; 110: 1042–1046. DOI: 10.1161/01.CIR.0000140263.20897.42.
4. Krijthe B.P., Kunst A., Benjamin E.J., Lip G.Y., Franco O.H., Hofman A., Wittteman J.C., Stricker B.H., Heeringa J. Projections on the number of individuals with atrial fibrillation in the European Union, from 2000 to 2060. *Eur. Heart J.* 2013; 34: 2746–2751. DOI: 10.2147/CLEPS47385.
5. Zoni-Berisso M., Lercari F., Carazza T., Domenicucci S. Epidemiology of atrial fibrillation: European perspective. *Clin. Epidemiol.* 2014; 6: 213–220. DOI: 10.2147/CLEPS47385.
6. Kimura K., Minematsu K., Yamaguchi T. Atrial fibrillation as a predictive factor for severe stroke and early death in 15,831 patients with acute ischaemic stroke. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*. 2005; 76 (5): 679–683. DOI: 10.1136/jnnp.2004.048827.
7. Tu H.T., Campbell B.C., Christensen S., Desmond P.M., De Silva D.A., Parsons M.W., Churilov L., Lansberg M.G., Mlynash M., Olivot J.-M., Straka M., Bammer R., Albers G.W., Donnan G.A., Davis S.M. Worse stroke outcome in atrial fibrillation is explained by more severe hypoperfusion, infarct growth, and hemorrhagic transformation. *Int. J. Stroke*. 2015; 10: 534–540. DOI: 10.1111/ijis.12007.
8. Kuriachan V.P., Sumner G.L., Mitchell L.B. Sudden Cardiac Death. *Curr. Probl. Cardiol.* 2015; 40 (4): 133–200. DOI: 10.1016/j.cpcardiol.2015.01.002.
9. Calkins H., Kuck K.H., Cappato R., Brugada J., Camm A.J., Chen S.A., Crijns H.J., Damiano R.J. Jr, Davies D.W., DiMarco J., Edgerton J., Ellenbogen K., Ezekowitz M.D., Haines D.E., Haissaguerre M., Hindricks G., Iesaka Y., Jackman W., Jalife J., Jais P., Kalman J., Keane D., Kim Y.H., Kirchhof P., Klein G., Kottkamp H., Kumagai K., Lindsay B.D., Mansour M., Marchlinski F.E., McCarthy P.M., Mont J.L., Morady F., Nademanee K., Nakagawa H., Natale A., Nattel S., Packer D.L., Pappone C.,



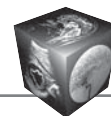
- Prystowsky E., Raviele A., Reddy V., Ruskin J.N., Shemin R.J., Tsao H.M., Wilber D.; Heart Rhythm Society Task Force on Catheter and Surgical Ablation of Atrial Fibrillation. 2012 HRS/EHRA/ECAS expert consensus statement on catheter and surgical ablation of atrial fibrillation: recommendations for patient selection, procedural techniques, patient management and follow-up, definitions, endpoints and research trial design. *Heart Rhythm*. 2012; 9 (4): 632–696, e21. DOI: 10.1016/j.hrthm.2011.12.016.
10. Calkins H., Hindricks G., Cappato R. Kim Y.H., Saad E.B., Aguinaga L., Akar J.G., Badhwar V., Brugada J., Camm J., Chen P.S., Chen S.A., Chung M.K., Nielsen J.C., Curtis A.B., Davies D.W., Day J.D., d'Avila A., de Groot NMSN, Di Biase L., Duytschaever M., Edgerton J.R., Ellenbogen K.A., Ellinor P.T., Ernst S., Fenelon G., Gerstenfeld E.P., Haines D.E., Haissaguerre M., Helm R.H., Hylek E., Jackman W.M., Jalife J., Kalman J.M., Kautzner J., Kottkamp H., Kuck K.H., Kumagai K., Lee R., Lewalter T., Lindsay B.D., Macle L., Mansour M., Marchlinski F.E., Michaud G.F., Nakagawa H., Natale A., Nattel S., Okumura K., Packer D., Pokushalov E., Reynolds M.R., Sanders P., Scanavacca M., Schilling R., Tondo C., Tsao H.M., Verma A., Wilber D.J., Yamane T. HRS/EHRA/ECAS/APHS/SOLAECE Expert Consensus Statement on Catheter and Surgical Ablation of Atrial Fibrillation. *Europace*. 2018; 20: 157–208. DOI: 10.1093/europace/eux275.
 11. Клинические рекомендации “Диагностика и лечение фибрилляции предсердий”; Под. ред. Ревшвили А.Ш., Рзаева Ф.Г., Горева М.В., Нардая Ш.Г. М., 2017; 201 с.
 12. Liddy S., Buckley U., Kok H.K., Loo B., Glover B., Dhillon G.R., Buckley O. Applications of cardiac computed tomography in electrophysiology intervention. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2018; 19 (3): 253–261. DOI: 10.1093/ehjci/jex312.
 13. Гурина В.И., Кондратьев Е.В., Ревшвили А.Ш., Кармазановский Г.Г., Алимурзаева М.З. Оценка анатомии и функции левого предсердия по данным мультиспиральной компьютерной томографии при подготовке к радиочастотной катетерной абляции у пациентов с фибрилляцией предсердий. *Медицинская визуализация*. 2017; 21 (5): 39–55. DOI: 10.24835/1607-0763-2017-5-39-55.
 14. Marrouche N.F., Wilber D., Hindricks G., Jais P., Akoum N., Marchlinski F., Kholmovski E., Burgon N., HuN., Mont L., Deneke Th., Duytschaever M., Neumann Th., Mansour M., Mahnkopf Ch., Herweg B., Daoud E., Wissner E., Bansmann P., Brachmann J. Association of Atrial Tissue Fibrosis Identified by Delayed Enhancement MRI and Atrial Fibrillation Catheter Ablation. The DECAAF Study. *JAMA*. 2014; 311 (5): 498–506. DOI: 10.1001/jama.2014.3.
 15. Siebermair J., Kholmovski E.G., Marrouche N. Assessment of Left Atrial Fibrosis by Late Gadolinium Enhancement Magnetic Resonance Imaging: Methodology and Clinical Implications. *JACC Clin. Electrophysiol*. 2017; 3 (8): 791–802. DOI: 10.1016/j.jacep.2017.07.004.
 16. Ревшвили А.Ш., Калинин В.В., Сопов О.В., Симонян Г.Ю., Ляджина О.С., Фетисова Е.А. Первый опыт хирургического лечения нарушений ритма сердца при помощи неинвазивной системы диагностики поверхностного картирования Амикард-01. *Анналы аритмологии*. 2011; 1: 47–52.
 17. Ревшвили А.Ш., Артюхина Е.А., Лабазанова А.Л., Калинин В.В., Александрова С.А. Использование диагностического комплекса Амикард для устранения предсердной экстрасистолии из правой верхней легочной вены. *Вестник аритмологии*. 2011; 66: 59–61.
 18. Revishvili A.S., Wissner E., Lebedev D.S., Lemes C., Deiss S., Metzner A., Kalinin V.V., Sopov O.V., Labartkava E.Z., Kalinin A.V., Chmelevsky M., Stephan V. Zubarev, Maria K. Chaykovskaya, Mikhail G. Tsiklauri, Karl-HeinzKuck. Validation of the mapping accuracy of a novel non-invasive epicardial and endocardialelectrophysiology system. *Europace*. 2015; 17 (8): 1282–1288. DOI: 10.1093/europace/euu339.
 19. Артюхина Е.А., Ревшвили А.Ш. Комплексный подход в лечении нарушений ритма с использованием неинвазивного и инвазивного картирования сердца. *Высокотехнологическая медицина*. 2017; 3: 51–53.
 20. Александрова С.А. Оценка анатомии легочных вен у больных с фибрилляцией предсердий с помощью спиральной компьютерной ангиографии: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2004. 23 с.
 21. Cronin P., Kelly A.M., Desjardins B., Patel S., Gross B.H., Kazerooni E.A., Morady F., Oral H., Carlos R.C. Normative analysis of pulmonary vein drainage patterns on multidetector CT with measurements of pulmonary vein ostial diameter and distance to first bifurcation. *Acad. Radiol*. 2007; 14 (2): 178–188. DOI: 10.1016/j.acra.2006.11.004.
 22. Hassani C., Saremi F. Comprehensive Cross-sectional Imaging of the Pulmonary Veins. *Radiographics*. 2017; 37 (7): 1928–1954. DOI: 10.1148/rg.2017170050.
 23. Marom E.M., Herndon J.E., Kim Y.H., McAdams H.P. Variations in pulmonary venous drainage to the left atrium: implications for radiofrequency ablation. *Radiology*. 2004; 230 (3): 824–829.
 24. Harbi A., Mhish H., Al Shehri H.Z.M., Das K.M. Anatomical variation of pulmonary venous ostium and its relationship with atrial arrhythmia in the Saudi population. *J. Saudi Heart Assoc*. 2014; 26 (2): 81–85. DOI: 10.1016/j.jsha.2013.11.007.
 25. Ревшвили А.Ш., Макаренко В.Н., Александрова С.А. Оценка морфологии легочных вен у пациентов с фибрилляцией предсердий с использованием компьютерной ангиографии. *Вестник аритмологии*. 2006; 45: 42–47.
 26. Kang K.-W., Pak H.-N., Park J., Park J.G., Uhm J.S., Joung B., Lee M.H., Hwang C. Additional linear ablation from the superior vena cava to right atrial septum after pulmonary vein isolation improves the clinical outcome in patients with paroxysmal atrial fibrillation: prospective randomized study. *Europace*. 2014; 16: 1738–1745.
 27. Артюхина Е.А., Яшков М.В., Васковский В.А., Ревшвили А.Ш. Радиочастотная абляция аритмогенных зон в правом предсердии у пациентов с фибрилляцией предсердий. *Вестник аритмологии*. 2018; 91: 44–47.
 28. Leong D.P., Dokainish H. Left atrial volume and function in patients with atrial fibrillation. *Curr. Opin Cardiol*. 2014; 29 (5): 437–444. DOI: 10.1097/HCO.000000000000088.
 29. Гурина В.И., Кондратьев Е.В., Кармазановский Г.Г., Хацаюк Е.А. МСКТ-волюметрия левого предсердия у пациентов кардиологического профиля. *Медицинская визуализация*. 2017; 21 (6): 13–18. DOI: 10.24835/1607-0763-2017-6-13-18.



30. Mansour M., Holmvang G., Sosnovik D., Migrino R., Abbara S., Ruskin J., Keane D. Assessment of pulmonary vein anatomic variability by magnetic resonance imaging: implications for catheter ablation techniques for atrial fibrillation. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2004; 15 (4): 387–393. DOI:10.1046/j.1540-8167.2004.03515.x.
31. Saric M., Armour A.C., Arnaout M.S., Chaudhry F.A., Grimm R.A., Kronzon I., Landeck B.F., Maganti K., Michelena H.I., Tolstrup K. Guidelines for the use of echocardiography in the evaluation of a cardiac source of embolism. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2016; 29: 1–42. DOI: 10.1016/j.echo.2015.09.011.
32. Pathan F., Hecht H., Narula J., Marwick T.H. Roles of Transesophageal Echocardiography and Cardiac Computed Tomography for Evaluation of Left Atrial Thrombus and Associated Pathology: Review and Critical Analysis. *JACC Cardiovasc. Imaging.* 2018; 11 (4): 616–627. DOI: 10.1016/j.jcmg.2017.12.019.
33. Hilberath J.N., Oakes D.A., Shernan S.K., Bulwer B.E., D'Ambra M.N., Eltzschig H.K. Safety of transesophageal echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2010; 23: 1115–1127.
34. Romero J., Husain S.A., Kelesidis I., Sanz J., Medina H.M., Garcia M.J. Detection of left atrial appendage thrombus by cardiac computed tomography in patients with atrial fibrillation: a metaanalysis. *Circ. Cardiovasc. Imaging.* 2013; 6: 185–194. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.112.000153.
35. Bilchick K.C., Mealor A., Gonzalez J., Norton P., Zhuo D., Mason P., Ferguson J.D., Malhotra R., Michael Mangrum J., Darby A.E., DiMarco J., Hagspiel K. Dent J., Kramer C.M., Stukenborg G.J., Salerno M. Effectiveness of integrating delayed computed tomography angiography imaging for left atrial appendage thrombus exclusion into the care of patients undergoing ablation of atrial fibrillation. *Heart Rhythm.* 2016; 13: 12–19. DOI: 10.1016/j.hrthm.2015.09.002.
36. Chen Y.A., Nguyen E.T., Dennie C., Wald R.M., Crean A.M., Yoo S.-J., Jimenez-Juan L. Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging of the Coronary Sinus: Anatomic Variants and Congenital Anomalies. *Insights Imaging.* 2014; 5: 547–557. DOI: 10.1007/s13244-014-0330-8.
37. Kaseno K., Hisazaki K., Nakamura K., Ikeda E., Hasegawa K., Aoyama D., Shiomi Y., Ikeda H., Morishita T., Ishida K., Amaya N., Uzui H., Tada H. The impact of the CartoSound® image directly acquired from the left atrium for integration in atrial fibrillation ablation. *J. Intervent. Cardiac Electrophysiol.* 2018. DOI: org/10.1007/s10840-018-0368-5.
38. Mosleh W., Sheikh A., DO, Said Z., Abdel-Aal M.A., Gadde S., Shah T., Wilson M.F., Beck H., Kim Ch., Sharma U.C. The Use of Cardiac-CT Alone to Exclude Left Atrial Thrombus Before Atrial Fibrillation Ablation: Efficiency, Safety, and Cost Analysis. *Pacing Clin. Electrophysiol.* 2018. DOI: 10.1111/pace.13353.
- Hendriks J., Hindricks G., Manolis A.S., Oldgren J., Popescu B.A., Schotten U., Van Putte B., Vardas P. ESC Scientific Document Group. 2016 ESC Guidelines for the management of atrial fibrillation developed in collaboration with EACTS. *Eur. Heart J.* 2016; 37: 2893–2962. DOI: 10.1093/eurheartj/ehw210.
3. Lloyd-Jones D.M., Wang T.J., Leip E.P., Larson M.G., Levy D., Vasan R.S., D'Agostino R.B., Massaro J.M., Beiser A., Wolf P.A., Benjamin E.J. Lifetime risk for development of atrial fibrillation: the Framingham Heart Study. *Circulation.* 2004; 110: 1042–1046. DOI: 10.1161/01.CIR.0000140263.20897.42.
4. Krijthe B.P., Kunst A., Benjamin E.J., Lip G.Y., Franco O.H., Hofman A., Wittteman J.C., Stricker B.H., Heeringa J. Projections on the number of individuals with atrial fibrillation in the European Union, from 2000 to 2060. *Eur. Heart J.* 2013; 34: 2746–2751. DOI: 10.2147/CLEP.S47385.
5. Zoni-Berisso M., Lercari F., Carazza T., Domenicucci S. Epidemiology of atrial fibrillation: European perspective. *Clin. Epidemiol.* 2014; 6: 213–220. DOI: 10.2147/CLEP.S47385.
6. Kimura K., Minematsu K., Yamaguchi T. Atrial fibrillation as a predictive factor for severe stroke and early death in 15,831 patients with acute ischaemic stroke. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry.* 2005; 76 (5): 679–683. DOI: 10.1136/jnnp.2004.048827.
7. Tu H.T., Campbell B.C., Christensen S., Desmond P.M., De Silva D.A., Parsons M.W., Churilov L., Lansberg M.G., Mlynash M., Olivot J.-M., Straka M., Bammer R., Albers G.W., Donnan G.A., Davis S.M. Worse stroke outcome in atrial fibrillation is explained by more severe hypoperfusion, infarct growth, and hemorrhagic transformation. *Int. J. Stroke.* 2015; 10: 534–540. DOI: 10.1111/ijvs.12007.
8. Kuriachan V.P., Sumner G.L., Mitchell L.B. Sudden Cardiac Death. *Curr. Probl. Cardiol.* 2015; 40 (4): 133–200. DOI: 10.1016/j.cpcardiol.2015.01.002.
9. Calkins H., Kuck K.H., Cappato R., Brugada J., Camm A.J., Chen S.A., Crijns H.J., Damiano R.J. Jr., Davies D.W., DiMarco J., Edgerton J., Ellenbogen K., Ezekowitz M.D., Haines D.E., Haissaguerre M., Hindricks G., Iesaka Y., Jackman W., Jalife J., Jais P., Kalman J., Keane D., Kim Y.H., Kirchhof P., Klein G., Kottkamp H., Kumagai K., Lindsay B.D., Mansour M., Marchlinski F.E., McCarthy P.M., Mont J.L., Morady F., Nademanee K., Nakagawa H., Natale A., Nattel S., Packer D.L., Pappone C., Prystowsky E., Raviele A., Reddy V., Ruskin J.N., Shemin R.J., Tsao H.M., Wilber D.; Heart Rhythm Society Task Force on Catheter and Surgical Ablation of Atrial Fibrillation. 2012 HRS/EHRA/ECAS expert consensus statement on catheter and surgical ablation of atrial fibrillation: recommendations for patient selection, procedural techniques, patient management and follow-up, definitions, endpoints and research trial design. *Heart Rhythm.* 2012; 9 (4): 632–696, e21. DOI: 10.1016/j.hrthm.2011.12.016.
10. Calkins H., Hindricks G., Cappato R., Kim Y.H., Saad E.B., Aguinaga L., Akar J.G., Badhwar V., Brugada J., Camm J., Chen P.S., Chen S.A., Chung M.K., Nielsen J.C., Curtis A.B., Davies D.W., Day J.D., d'Avila A., de Groot NMSN, Di Biase L., Duytschaever M., Edgerton J.R., Ellenbogen K.A., Ellinor P.T., Ernst S., Fenelon G., Gerstenfeld E.P., Haines D.E., Haissaguerre M., Helm R.H., Hylek E., Jackman W.M., Jalife J., Kalman J.M.,

References

1. Chugh S.S., Havmoeller R., Narayanan K., Singh D., Rienstra M., Benjamin E.J., Gillum R.F., Kim Y.H., McAnulty J.H. Jr., Zheng Z.J., Forouzanfar M.H., Naghavi M., Mensah G.A., Ezzati M., Murray C.J. World wide epidemiology of atrial fibrillation: a Global Burden of Disease 2010 Study. *Circulation.* 2014; 129: 837–847.
2. Kirchhof P., Benussi S., Kotecha D., Ahlsson A., Atar D., Casadei B., Castella M., Diener H.C., Heidbuchel H.,



- Kautzner J., Kottkamp H., Kuck K.H., Kumagai K., Lee R., Lewalter T., Lindsay B.D., Macle L., Mansour M., Marchlinski F.E., Michaud G.F., Nakagawa H., Natale A., Nattel S., Okumura K., Packer D., Pokushalov E., Reynolds M.R., Sanders P., Scanavacca M., Schilling R., Tondo C., Tsao H.M., Verma A., Wilber D.J., Yamane T. HRS/EHRA/ECAS/APHS/SOLAECE Expert Consensus Statement on Catheter and Surgical Ablation of Atrial Fibrillation. *Europace*. 2018; 20: 157–208. DOI: 10.1093/europace/eux275.
11. Clinical recommendations “Diagnostics and treatment of atrial fibrillation”; Eds Revishvili A.Sh., Rzaeva F.G., Goreva M.V., Nardaya Sh.G. M., 2017. 201 p. (In Russian)
 12. Liddy S., Buckley U., Kok H.K., Loo B., Glover B., Dhillon G.R., Buckley O. Applications of cardiac computed tomography in electrophysiology intervention. *Eur. Heart J. Cardiovasc. Imaging*. 2018; 19 (3): 253–261. DOI: 10.1093/ehjci/jex312.
 13. Gurina V.I., Kondrat'ev E.V., Revishvili A.Sh., Karmazanovsky G.G., Alimurzaeva M.Z. Evaluation of Left Atrial Anatomy and Function using Multidetector Computed Tomography in Patients Undergoing Catheter Ablation for Atrial Fibrillation. *Medical Visualization*. 2017; 21 (5): 39–55. DOI: 10.24835/1607-0763-2017-5-39-55. (In Russian)
 14. Marrouche N.F., Wilber D., Hindricks G., Jais P., Akoum N., Marchlinski F., Kholmovski E., Burgon N., HuN., Mont L., Deneke Th., Duytschaever M., Neumann Th., Mansour M., Mahnkopf Ch., Herweg B., Daoud E., Wissner E., Bansmann P., Brachmann J. Association of Atrial Tissue Fibrosis Identified by Delayed Enhancement MRI and Atrial Fibrillation Catheter Ablation. The DECAAF Study. *JAMA*. 2014; 311 (5): 498–506. DOI: 10.1001/jama.2014.3.
 15. Siebermair J., Kholmovski E.G., Marrouche N. Assessment of Left Atrial Fibrosis by Late Gadolinium Enhancement Magnetic Resonance Imaging: Methodology and Clinical Implications. *JACC Clin Electrophysiol*. 2017; 3 (8): 791–802. DOI: 10.1016/j.jacep.2017.07.004.
 16. Revishvili A.Sh., Kalinin V.V., Sopov O.V., Simonyan G.Yu., Lyadzhina O.S., Fetisova E.A. The first experience of surgical treatment of heart arrhythmias with noninvasive system of diagnostics of superficial mapping Amycard-01K. *Annaly Aritmologii*. 2011; 1: 47–52. (In Russian)
 17. Revishvili A.Sh., Artyukhina E.A., Labazanova A.L., Kalinin V.V., Aleksandrova S.A. Application of Amicard diagnostic complex for elimination of atrial premature contractions originating from the right upper pulmonary vein. *Vestnik Aritmologii*. 2011; 66: 59–61. (In Russian)
 18. Revishvili A.S., Wissner E., Lebedev D.S., Lemes C., Deiss S., Metzner A., Kalinin V.V., Sopov O.V., Labartkava E.Z., Kalinin A.V., Chmelevsky M., Stephan V. Zubarev, Maria K. Chaykovskaya, Mikhail G. Tsiklauri, Karl-Heinz Kuck. Validation of the mapping accuracy of a novel non-invasive epicardial and endocardial electrophysiology system. *Europace*. 2015; 17 (8): 1282–1288. DOI: 10.1093/europace/euu339.
 19. Artyukhina E.A., Revishvili A.Sh. Complex approach to treatment of the arrhythmias with noninvasive and invasive mapping. *Vysokotekhnologicheskaya medicina*. 2017; 3: 51–53. (In Russian)
 20. Aleksandrova S.A. Assessment of pulmonary veins anatomy at patients with atrial fibrillation by spiral computed angiography: Avto-ref. dis. ... cand. of med. sci. M., 2004. 23 p. (In Russian)
 21. Cronin P., Kelly A.M., Desjardins B., Patel S., Gross B.H., Kazerooni E.A., Morady F., Oral H., Carlos R.C. Normative analysis of pulmonary vein drainage patterns on multidetector CT with measurements of pulmonary vein ostial diameter and distance to first bifurcation. *Acad. Radiol.* 2007; 14 (2): 178–188. DOI: 10.1016/j.acra.2006.11.004.
 22. Hassani C., Saremi F. Comprehensive Cross-sectional Imaging of the Pulmonary Veins. *Radiographics*. 2017; 37 (7): 1928–1954. DOI: 10.1148/rg.2017170050.
 23. Marom E.M., Herndon J.E., Kim Y.H., McAdams H.P. Variations in pulmonary venous drainage to the left atrium: implications for radiofrequency ablation. *Radiology*. 2004; 230 (3): 824–829.
 24. Harbi A., Mhish H., Al Shehri H.Z.M., Das K.M. Anatomical variation of pulmonary venous ostium and its relationship with atrial arrhythmia in the Saudi population. *J. Saudi Heart Assoc*. 2014; 26 (2): 81–85. DOI: 10.1016/j.jsha.2013.11.007.
 25. Revishvili A.Sh., Makarenko V.N., Aleksandrova S.A. Assessment of pulmonary veins morphology at patients with atrial fibrillation by computed angiography. *Vestnik aritmologii*. 2006; 45: 42–47. (In Russian)
 26. Kang K.-W., Pak H.-N., Park J., Park J.G., Uhm J.S., Joung B., Lee M.H., Hwang C. Additional linear ablation from the superior vena cava to right atrial septum after pulmonary vein isolation improves the clinical outcome in patients with paroxysmal atrial fibrillation: prospective randomized study. *Europace*. 2014; 16: 1738–1745.
 27. Artyukhina E.A., Yashkov M.V., Vaskovsky V.A., Revishvili A.Sh. Radiofrequency ablation of arrhythmogenic foci in the right atrium of patients with atrial fibrillation. *Vestnik aritmologii*. 2018; 91: 44–47. (In Russian)
 28. Leong D.P., Dokainish H. Left atrial volume and function in patients with atrial fibrillation. *Curr. Opin Cardiol*. 2014; 29 (5): 437–444. DOI: 10.1097/HCO.0000000000000088.
 29. Gurina V.I., Kondrat'ev E.V., Karmazanovsky G.G., Khatsayuk E.A. MDCT Evaluation of Left Atrial Volume in Patients with Cardiac Diseases. *Medical Visualization*. 2017; 21 (6): 13–18. DOI: 10.24835/1607-0763-2017-6-13-18. (In Russian)
 30. Mansour M., Holmvang G., Sosnovik D., Migrino R., Abbara S., Ruskin J., Keane D. Assessment of pulmonary vein anatomic variability by magnetic resonance imaging: implications for catheter ablation techniques for atrial fibrillation. *J. Cardiovasc. Electrophysiol*. 2004; 15 (4): 387–393. DOI: 10.1046/j.1540-8167.2004.03515.x.
 31. Saric M., Armour A.C., Arnaout M.S., Chaudhry F.A., Grimm R.A., Kronzon I., Landeck B.F., Maganti K., Michelena H.I., Tolstrup K. Guidelines for the use of echocardiography in the evaluation of a cardiac source of embolism. *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 2016; 29: 1–42. DOI: 10.1016/j.echo.2015.09.011.
 32. Pathan F., Hecht H., Narula J., Marwick T.H. Roles of Transesophageal Echocardiography and Cardiac Computed Tomography for Evaluation of Left Atrial Thrombus and Associated Pathology: Review and Critical Analysis. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2018; 11 (4): 616–627. DOI: 10.1016/j.jcmg.2017.12.019.
 33. Hilberath J.N., Oakes D.A., Shernan S.K., Bulwer B.E., D'Ambra M.N., Eltzhig H.K. Safety of transesophageal echocardiography. *J. Am. Soc. Echocardiogr*. 2010; 23: 1115–1127.



34. Romero J., Husain S.A., Kelesidis I., Sanz J., Medina H.M., Garcia M.J. Detection of left atrial appendage thrombus by cardiac computed tomography in patients with atrial fibrillation: a metaanalysis. *Circ. Cardiovasc. Imaging*. 2013; 6: 185–194. DOI: 10.1161/CIRCIMAGING.112.000153.
35. Bilchick K.C., Mealar A., Gonzalez J., Norton P., Zhuo D., Mason P., Ferguson J.D., Malhotra R., Michael Mangrum J., Darby A.E., DiMarco J., Hagspiel K., Dent J., Kramer C.M., Stukenborg G.J., Salerno M. Effectiveness of integrating delayed computed tomography angiography imaging for left atrial appendage thrombus exclusion into the care of patients undergoing ablation of atrial fibrillation. *Heart Rhythm*. 2016; 13: 12–19. DOI: 10.1016/j.hrthm.2015.09.002.
36. Chen Y.A., Nguyen E.T., Dennie C., Wald R.M., Crean A.M., Yoo S.-J., Jimenez-Juan L. Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging of the Coronary Sinus: Anatomic Variants and Congenital Anomalies. *Insights Imaging*. 2014; 5: 547–557. DOI: 10.1007/s13244-014-0330-8.
37. Kaseno K., Hisazaki K., Nakamura K., Ikeda E., Hasegawa K., Aoyama D., Shiomi Y., Ikeda H., Morishita T., Ishida K., Amaya N., Uzui H., Tada H. The impact of the CartoSound® image directly acquired from the left atrium for integration in atrial fibrillation ablation. *J. Intervent. Cardiac Electrophysiol*. 2018. DOI: org/10.1007/s10840-018-0368-5.
38. Mosleh W., Sheikh A., DO, Said Z., Abdel-Aal M.A., Gadde S., Shah T., Wilson M.F., Beck H., Kim Ch., Sharma U.C. The Use of Cardiac-CT Alone to Exclude Left Atrial Thrombus Before Atrial Fibrillation Ablation: Efficiency, Safety, and Cost Analysis. *Pacing Clin. Electrophysiol*. 2018. DOI: 10.1111/pace.13353.

Для корреспонденции*: Каштанова Наталия Юрьевна – 117997 Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27, ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневого” Минздрава России. Тел.: +7-985-381-46-70. E-mail: nat.y.kashtanova@mail.ru

Каштанова Наталия Юрьевна – ординатор отделения рентгенологии и магнитно-резонансных исследований ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневого” Минздрава России, Москва.

Груздев Иван Сергеевич – ординатор отделения рентгенологии и магнитно-резонансных исследований ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневого” Минздрава России, Москва.

Кондратьев Евгений Валерьевич – канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения рентгенологии и магнитно-резонансных исследований ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневого” Минздрава России, Москва.

Артюхина Елена Александровна – доктор мед. наук, заведующая отделением электрофизиологических рентгенэндоваскулярных методов диагностики и лечения аритмий ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневого” Минздрава России, Москва.

Яшков Максим Валерьевич – ординатор отделения электрофизиологических рентгенэндоваскулярных методов диагностики и лечения аритмий ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневого” Минздрава России, Москва.

Ревিশвили Амиран Шотаевич – академик РАН, профессор, доктор мед. наук, директор ФГБУ “НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневого” Минздрава России, Москва.

Contact*: Nataliya Yu. Kashtanova – 117997 Moscow, Bolshaya Serpuhovskaya str., 27, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery. Phone: +7-985-381-46-70. E-mail: nat.y.kashtanova@mail.ru

Natalia Yu. Kashtanova – resident of Radiology Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow.

Ivan S. Gruzdev – resident of Radiology Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow.

Evgenij V. Kondrat'ev – cand. of med. sci., senior research of Radiology Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow.

Elena A. Artyukhina – doct. of med. sci., Head of the Department of Electrophysiological Endovascular Methods of Diagnosis and Dreatment of Arrhythmias, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow.

Maksim V. Yashkov – resident of the Department of Electrophysiological Endovascular Methods of Diagnosis and Dreatment of Arrhythmias, A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow.

Amiran Sh. Revishvili – Academician of RAS, Professor, doct. of med. sci., Director of A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery, Moscow.

Поступила в редакцию 18.06.2018.
Принята к печати 19.07.2018.

Received on 18.06.2018.
Accepted for publication on 19.07.2018.