

## ОСОБЕННОСТИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ВНУТРИСЕРДЕЧНЫХ СТРУКТУР ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗНЫХ КТ-ПРОТОКОЛОВ КОНТРАСТНОГО УСИЛЕНИЯ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ АРИТМОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

Каштанова Н.Ю.<sup>1</sup>, Кондратьев Е.В.<sup>1</sup>, Артюхина Е.А.<sup>1</sup>, Кармазановский Г.Г.<sup>1,2</sup>

1 – ФГБУ «НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия.

2 – ФГБОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова  
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия.

**Цель исследования.** Оценить влияние методик контрастного усиления при компьютерной томографии на качество визуализации отделов сердца при планировании интервенционного лечения аритмий.

**Материалы и методы.** В исследование включено 100 пациентов с нарушениями ритма на этапе планирования интервенционного лечения. Для неинвазивной визуализации выполнялась КТ с внутривенным контрастным усилением (КУ). Деление пациентов на группы осуществлялось в зависимости от используемой технологии КУ: I группа монофазное, II группа «сплит-болюс», III группа «сплит-болюс» с введением предварительного болюса.

**Результаты.** Четкая дифференцировка эндокарда, патологических изменений левых камер определялись вне зависимости от технологии КУ. При монофазном КУ поступление неконтрастированной крови из НПВ снижало степень контрастирования правых отделов, получение диагностической информации было затруднено в 83% случаев. Протоколы дробного введения (группы II и III) за счет пролонгированного введения контрастного препарата улучшали визуализацию правых камер и увеличивали среднюю плотность контрастированной крови в ПЖ более чем в 2.5 раза по сравнению с монофазным протоколом, но повышали частоту артефактов в ВПВ за счет хвоста болюса. Гетерогенность КУ полости ПП во II группе за счет смешивания высокоплотного контрастного средства из ВПВ и крови низкой плотности из НПВ снижала точность дифференцировки границ эндокарда. Применение предварительного болюса в III группе повышало гомогенность контрастирования ПП и снижало частоту выраженных артефактов в ВПВ в 5,5 раз.

**Выводы.** Монофазное и дробное введение контрастного средства обеспечивает оптимальное контрастирование левых камер сердца. Применение преследователя болюса уменьшает вероятность артефактов в ВПВ, но снижает степень контрастного усиления правых отделов. Технологии контрастирования «сплит-болюс» и с введением предварительного болюса улучшают визуализацию правых камер сердца, частота возникновения артефактов в ВПВ при этом соизмерима. Технология КУ с предварительным болюсом предпочтительна при необходимости точной дифференцировки структур ПП.

Ключевые слова: компьютерная томография, контрастное усиление, катетерная абляция, сердце, аритмия.

Контактный автор: Каштанова Н.Ю., e-mail: nat.y.kashtanova@mail.ru

Для цитирования: Каштанова Н.Ю., Кондратьев Е.В., Артюхина Е.А., Кармазановский Г.Г. Особенности визуализации внутрисердечных структур при использовании разных КТ-протоколов контрастного усиления для планирования аритмологических операций. REJR 2021; 11(2):130-142. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-2-130-142.

Статья получена: 26.11.20

Статья принята: 25.03.21

## SPECIAL ASPECTS OF INTRACARDIAC STRUCTURES VISUALIZATION WITH DIFFERENT CONTRAST ENHANCEMENT CT-PROTOCOLS FOR PLANNING ARRHYTHMOLOGICAL OPERATIONS

Kashtanova N.Yu.<sup>1</sup>, Kondratyev E.V.<sup>1</sup>, Artyukhina E.A.<sup>1</sup>, Karmazanovsky G.G.<sup>1,2</sup>

1 - A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery.

2 - N.I. Pirogov Russian National Research Medical University. Moscow, Russia.

**Purpose.** To assess the effect of CT-contrast enhancement (CE) techniques on the quality of cardiac imaging when planning intervention treatment of arrhythmias.

**Materials and methods.** The study included 100 patients with arrhythmias before operation. Cardiac CT with intravenous CE was performed for non-invasive imaging. Patients were divided into groups depending on CE technology: group I monophasic, group II split-bolus, group III split-bolus with the preliminary bolus.

**Results.** Clear differentiation of endocardium and pathology in left chambers were determined in all CE technologies. With monophasic CE, the unenhanced blood from IVC reduced density of right chambers, obtaining diagnostic information was difficult in 83% cases. Split-bolus protocols (groups II and III) improved imaging of right chambers and increased CT-density in RV by 2.5 times compared to the monophasic protocol by prolonged administration of contrast agent, but increased frequency of artifacts in SVC. The heterogeneity of RA cavity in group II due to the mixing of high-density contrast agent from SVC and low-density blood from IVC reduced the accuracy of endocardial contour differentiation. Using of preliminary bolus in group III increased the homogeneity of RA and reduced the frequency of significant artifacts in SVC by 5.5 times.

**Conclusion.** Monophasic and split-bolus CE technologies provide optimal contrast in left cardiac chambers. Using of saline chaser minimise frequency of artifacts in SVC, but reduces contrast enhancement of right chambers. Technologies split-bolus and with preliminary bolus improve visualization of right chambers with similar frequency artifacts in SVC. CE technology with preliminary bolus is preferred when it is necessary to accurately differentiate RA structures.

Keywords: computed tomography, contrast enhancement, radiofrequency ablation, heart, arrhythmia.

Corresponding author: Kashtanova N.Yu., e-mail: nat.y.kashtanova@mail.ru

For citation: Kashtanova N.Yu., Kondratyev E.V., Artyukhina E.A., Karmazanovsky G.G. Special aspects of intracardiac structures visualization with different contrast enhancement CT-protocols for planning arrhythmological operations. *REJR* 2021; 11(2):130-142. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-2-130-142.

Received: 26.11.20

Accepted: 25.03.21

Число пациентов, страдающих от фибрилляции предсердий (ФП), составляет в популяции более 33 миллионов человек, это самая распространенная форма нарушения ритма сердца [1]. Другие наджелудочковые аритмии встречаются реже (0,28-0,74% среди мужчин и 0,30-0,53% среди женщин), желудочковые – 0,19-0,22% [2]. Современные методики лечения позволяют устранить фокусы аритмогенной активности с применением минимально инвазивных методик, в частности, катетерных – радиочастотной и криоабляции [3, 4]. Важное значение для

безопасного проведения процедуры имеет предоперационная топическая диагностика источников аритмий с использованием методов лучевой диагностики [3, 5]. Высокая достоверность анатомических данных обеспечивается получением высокого качества компьютерных томограмм, напрямую зависящего от выбранной методики контрастного усиления.

В мировых научных данных представлено множество исследований о поиске наиболее оптимальной методики контрастного усиления для визуализации коронарных артерий, левого предсердия (ЛП) и легочных

вен, в меньшей степени отражена визуализация правого желудочка (ПЖ), единичные исследования оценивают контрастное усиление правого предсердия (ПП). Наше исследование направлено на комплексную оценку качества визуализации внутрисердечных структур, магистральных артериальных и венозных стволов, необходимых при планировании катетерной аблации источников аритмии, в зависимости от протокола контрастного усиления при компьютерной томографии (КТ) сердца.

**Цель исследования.**

Оценить влияние методик контрастного усиления при компьютерной томографии сердца (монофазного, сплит-болюс, с введением предварительного болюса) на качество визуализации правых и левых отделов сердца при планировании интервенционного лечения нарушений ритма сердца.

**Материалы и методы.**

Исследование выполнено на базе отделения рентгенологии и магнитно-резонансных исследований с кабинетом ультразвуковой диагностики ФГБУ «НМИЦ хирургии им. А.В. Вишневского». Было обследовано 100 пациентов с нарушениями ритма сердца на этапе планирования интервенционного лечения аритмии, которые были разделены на группы в зависимости от используемой технологии контрастного усиления: в I группу вошло 40 пациентов, во II группу 32 пациента, в III группу – 28 пациентов. Среди всех пациентов преобладали мужчины (доля в I группе 72,5%, во II – 37,5%, в III – 57,1%), средний возраст пациентов составил  $55,5 \pm 13,5$  лет (от 18 до 80 лет). По данным клинико-инструментального обследования в большинстве случаев отмечались предсердные аритмии, встречаемость по группам: в I – 86,0%, во II – 72,2%, в III – 67,9%. Преобладали пациенты с повышенной массой тела: среднее значение индекса массы тела составило  $28,6 \pm 4,9$  кг/м<sup>2</sup>. Все пациенты имели нормальную фракцию выброса (средние значения  $65 \pm 8\%$ , по группам: в I –  $63 \pm 8\%$ , во II –  $68 \pm 6\%$ , в III –  $65 \pm 7\%$ ).

Для неинвазивной визуализации камер сердца и магистральных сосудов выполнялась компьютерная томография с внутривенным контрастным усилением (КУ) и трехмерное моделирование с помощью стандартного программного обеспечения КТ – Philips Intellispace Portal (томографы Philips Brilliance 64 и Philips Ingenuity 64). Во всех случаях выполнялось двухфазное сканирование: артериальная фаза для получения анатомических данных и отсроченная фаза для исключения внутрисердечного тромбоза, с

ретроспективной ЭКГ-синхронизацией. Средняя частота сердечных сокращений на момент КТ-исследования среди всех пациентов составила  $61 \pm 24$  уд/мин.

Для внутривенного контрастирования применялось неионное КС с концентрацией йода в растворе 350 мг/мл, скорость инфузии 3,5-4 мл/сек. Объем основного болюса контрастного средства во всех группах определялся из расчета 1 мл на 1 кг веса пациента; при массе тела 100 кг и более – 100 мл. Применялись три методики КУ: в I группе монофазное – непрерывное введение контрастного средства (КС); во II группе – методика «сплит-болюс»: 1 фаза – введение 2/3 объема КС, затем 2 фаза – введение 1/3 КС в разведении с физиологическим раствором (ФР) в соотношении 50%:50%; в III группе – введение предварительного болюса в объеме 50 мл, далее через 50 сек – основного объема КС по параметрам аналогично II группе. Параметры начала сканирования во всех группах были одинаковые: минимальная задержка начала сканирования от достижения порога для артериальной фазы (старт режима «слежения за болюсом» одновременно со стартом введения основной порции КС; уровень слежения за болюсом – на восходящей аорте, порог 150 HU); отсроченная фаза – через 90 сек.

Качественную оценку результатов компьютерной томографии проводили путем визуальной оценки однородности контрастирования камер сердца, магистральных сосудов и возможности проведения структурного анализа, выявления патологических изменений. Отдельно оценивались потоковые артефакты в верхней полой вене (ВПВ) по шкале от 1 до 3 баллов, где 1 балл – отсутствие артефактов, 2 балла – незначимые артефакты, не влияющие на идентификацию ВПВ и прилежащих структур, 3 балла – выраженные артефакты, затрудняющие визуализацию контуров и точное измерение плотности ВПВ и прилежащих структурах (правой легочной артерии, правой верхней легочной вене, аорте). Измерение количественных параметров в камерах сердца проводилось путем обведения внутреннего контура на трех уровнях с вычислением средних величин для каждой камеры, для сосудистых структур (восходящей аорты, нижней полой вены (НПВ), коронарного синуса) и межжелудочковой перегородки – с помощью круглой метки ROI (рис. 1).

Для количественной оценки контрастности крови в желудочках на фоне КУ вычислялось венстрикуло-миокардиальное отношение контрастирования (VM-RV и VM-LV

для правого и левого желудочка соответственно) по формуле:

$$VM = \frac{HU_{Жел} - HU_{Мио}}{HU_{аорта}}$$

,где  $HU_{Жел}$  – средняя плотность крови в желудочке,  $HU_{Мио}$  – средняя плотность миокарда МЖП,  $HU_{аорта}$  – средняя плотность крови в восходящей аорте [6].

контрастное усиление правого предсердия и желудочка варьирует в широких пределах: поступление неконтрастированной крови из НПВ и растягивание хвоста болюса КС в верхней полой вене приводит к гетерогенности содержимого правых отделов сердца и низкой контрастности крови по отношению к миокарду, к тому же значительная часть КС к моменту старта сканирования успева

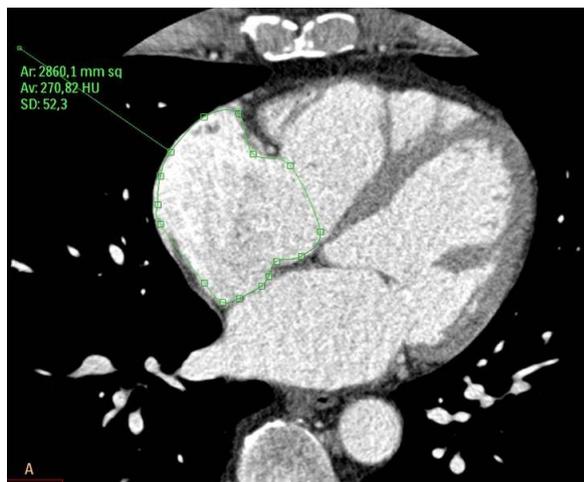


Рис. 1 а (Fig. 1 а)

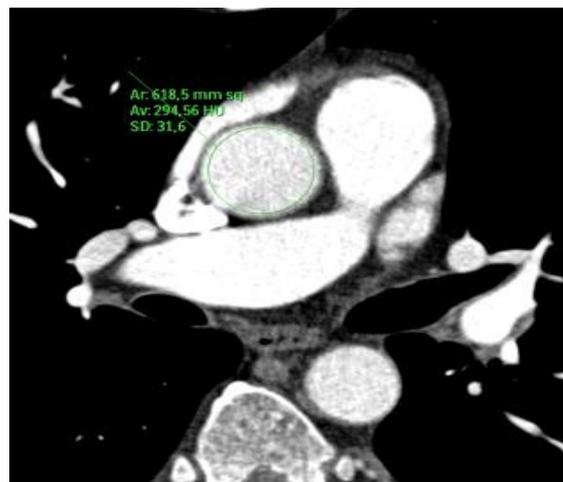


Рис. 1 б (Fig. 1 б)

**Рис. 1. КТ, аксиальные реконструкции.**

Пример измерения плотности камер сердца: а – обведение по внутреннему контуру камеры, и плотности сосудов, б – с помощью круглой метки ROI.

**Fig. 1. CT, axial reconstruction.**

Example of measuring the CT-density of the heart chambers: а – circling the inner contour of the chamber; and the CT-density of the vessels, б –using a round ROI mark.

**Результаты и обсуждение.**

Высокая степень контрастного усиления камер сердца необходима при планировании катетерной аблации источников аритмий. При этом, в зависимости от типа аритмии, важно одновременно получить достаточное и однородное контрастирование полостей обоих предсердий или желудочков, так как зоны аритмогенной активности могут быть расположены в любом отделе миокарда, что требует особого подхода к технологии контрастного усиления [3, 7].

Монофазный протокол контрастного усиления предполагает введение только КС в одну фазу, либо добавление фазы введения ФР, и является самым распространенным при КТ-исследовании сердца [8]. Исследователи отмечают оптимальное контрастирование левого предсердия и желудочка, коронарных артерий с возможностью оценки фракционного резерва кровотока, аорты, легочных артерий и вен [9-13]. В то же время

покинуть правые отделы [12].

Cademartiri с соавт. отметил, что использование преследователя болюса в виде физиологического раствора для минимизации линейных артефактов от высококонтрастированной крови в ВПВ и подключичной вене, сопутствующие ему снижение объема вводимого КС и изменение времени сканирования во многих случаях приводят к более быстрому вымыванию КС из правых отделов и снижению плотности контрастирования камер [9]. Это значительно затрудняет прослеживание контуров эндокарда, анализ анатомии и патологических изменений правого предсердия и желудочка, что было подтверждено более поздними исследованиями [6, 12, 13]. Kerl с соавт. и Lu также отметили, что пролонгирование времени поступления КС для поддержания контрастирования всего сердца в течение сканирования путем увеличения количества и уменьшения скорости введения КС не позволяет получить до-

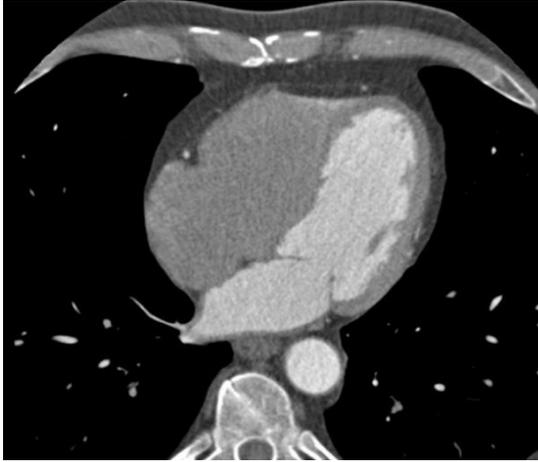


Рис. 2 а (Fig. 2 а)

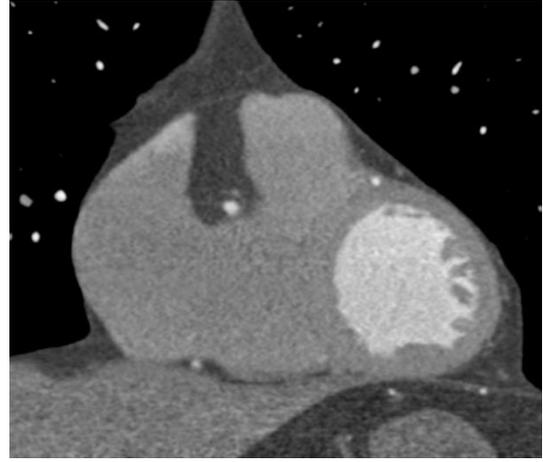


Рис. 2 б (Fig. 2 б)



Рис. 2 в (Fig. 2 с)

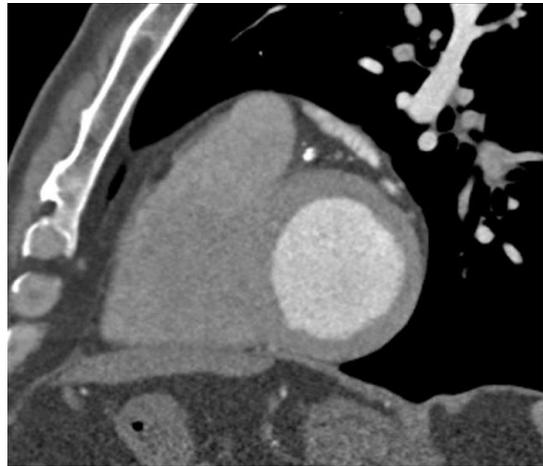


Рис. 2 г (Fig. 2 д)

**Рис. 2.** Пример КТ сердца пациента из I группы (монофазное контрастное усиление), артериальная фаза: а – аксиальная реконструкция, б – коронарная реконструкция, в, г – мультипланарные реконструкции на уровне предсердий и желудочков, соответственно.

Отмечается достаточное для получения диагностической информации контрастирование левых отделов сердца и субтотальное вымывание КС из правых отделов.

**Fig. 2.** Cardiac CT of a patient from I group (monophasic contrast enhancement), arterial phase: а – axial reconstruction, б – coronal reconstruction, с, д – multiplanar reconstruction at atrial and ventricular levels, respectively.

Optimal for diagnostic evaluation contrast enhancement of left chambers. Right chambers are unenhanced because of contrast agent's washing out.

статочное гомогенное контрастирование правых отделов сердца ввиду повышения частоты линейных артефактов от крови высокой плотности в ВПВ, затеняющим прилежащие структуры и искажающим трехмерные реконструкции [12, 13].

По результатам нашего исследования, гомогенное контрастирование и четкая дифференцировка контуров эндокарда левого предсердия и желудочка, аортального и митрального клапанов, папиллярных мышц,

тромботических масс и атеросклеротических изменений стенок коронарных артерий и аорты определялись вне зависимости от технологии КУ (рис. 2). Средняя плотность контрастированной крови в левом предсердии составляла по группам: в I –  $305,1 \pm 76,1$  HU, во II –  $285,2 \pm 78,4$  HU, в III –  $290,9 \pm 41,2$  HU ( $p=0.231$ ), в левом желудочке (ЛЖ)  $292,3 \pm 73,0$  HU,  $275,1 \pm 76,3$  HU и  $272,3 \pm 40,3$  HU соответственно ( $p=0.396$ ), в восходящей аорте  $316,4 \pm 77,0$  HU,  $292,9 \pm 76,4$  HU и  $278,3 \pm$



**Рис. 3.** Пример КТ сердца пациента из II группы (контрастное усиление по методике сплит-болюс), артериальная фаза: а – аксиальная реконструкция, б – коронарная реконструкция, в – сагиттальная реконструкция на уровне желудочков.

Высокая контрастность и гомогенность контрастирования левых отделов сердца. Степень контрастирования правых камер выше, чем при монофазном КУ, но смешивание «хвоста» болюса из ВПВ и неконтрастированной крови из НПВ приводит к неравномерности заполнения контрастным средством, что более заметно на уровне ПП.

**Fig. 3.** Cardiac CT of a patient from II group (split-bolus contrast enhancement), arterial phase: a – axial reconstruction, b – coronal reconstruction, c – sagittal reconstruction at ventricular level.

High and homogeneous contrast enhancement of left chambers. Contrast enhancement of right cardiac chambers is better, than in I group, but mixing of high-density blood from superior vena cava and unenhanced blood from inferior vena cava leads to heterogeneity of right atrium cavity.

42,0 HU соответственно ( $p=0.075$ ). Вентрикуло-миокардиальное отношение VM-LV во всех исследуемых группах значимо не различалось и составляло в I группе  $0,63 \pm 0,13$ , во II –  $0,61 \pm 0,11$ , в III –  $0,60 \pm 0,12$  ( $p=0.487$ ). Данный параметр количественно отражает контрастность полости камеры по отношению к стенке: чем больше данный показатель, тем сильнее разница контрастирования между стенкой желудочка и кровью, заполняющей ее просвет.

Количественные показатели контрастного усиления правых отделов сердца при использовании монофазного протокола в группе I были низкими (средняя плотность крови в ПП  $149,5 \pm 48,9$  HU, в ПЖ  $149,4 \pm 41,9$  HU, VM-RV  $0,19 \pm 0,13$ , рис. 3), что подтверждает данные мировых исследований, приведенных выше. В результате, получение диагностической информации в указанных отделах сердца было затруднено в 83% случаев. Артефакты в ВПВ в I группе отмечались в 60% случаев с преобладанием незначимых (21 пациент из 24), что связано с применением преследователя болюса.

Таким образом, монофазное КУ ввиду высокой гетерогенности и низкой степени контрастирования правого желудочка и предсердия не оптимизировано под оценку патологии правых отделов. Для улучшения их визуализации необходим подбор других ме-

тодик контрастного усиления.

Для получения адекватного контрастного усиления правых отделов сердца на протяжении сканирования стал применяться протокол дробного введения контрастного средства – сплит-болюс. В настоящее время он включает следующие этапы: 1 – введение контрастного средства, 2 – введение смеси контрастное средство – физиологический раствор в различном соотношении, 3 – введение физиологического раствора (необязательный этап) [12, 15, 16].

Utsunomiya с соавт. использовали протокол сплит-болюс, включающий введение КС:ФР в соотношении 50%:50%, и сравнивали его с монофазным введением для визуализации камер сердца и коронарных артерий [6]. Исследователи отметили, что наибольшая плотность крови в полости ПЖ получалась при протоколе сплит-болюс ( $335,8 \pm 55,0$  HU), ниже при монофазном протоколе ( $265,1 \pm 87,4$  HU и  $288,1 \pm 71,4$  HU с преследователем болюса и без соответственно). Для сравнения контрастности миокарда по отношению к полости желудочков рассчитывался коэффициент CNR: для левого желудочка значения колебались от  $7,9 \pm 1,8$  (монофазное КУ с преследователем болюса) до  $10,1 \pm 3,6$  (сплит-болюс). Для правого желудочка минимальные значения CNR также отмечались в группе монофазного КУ с пре-

следователем болюса ( $5,5 \pm 2,5$ ), несколько выше при отсутствии фазы физиологического раствора ( $6,8 \pm 3,4$ ), а при применении протокола сплит-болюс были соизмеримы со значениями для ЛЖ ( $9,0 \pm 3,0$ ). Измерение плотности крови в просвете коронарных артерий не выявило значимых различий во всех группах, а диагностическая точность визуализации стенозов составила 91-93%, с максимальным значением в группе с преследователем болюса.

Kerl с соавт. применяли протокол сплит-болюс (соотношение КС:ФР во второй фазе 70%:30%) для ангиопульмонографии и оценки легочной перфузии, сравнение проводили с монофазным протоколом с преследователем болюса в объеме от 30 мл до 100 мл [17]. Одновременно оценивалась плотность крови в ВПВ, наличие артефактов и их влияние на визуализацию легочных сосудов. При повышении объема ФР во второй фазе КУ отмечалось снижение средней плотности крови в ВПВ с  $954 \pm 482$  HU до  $612 \pm 397$  HU, а при протоколе сплит-болюс – до  $350 \pm 217$  HU. Одновременно снижалась выраженность артефактов по шкале от 1 до 5 – с  $3,2 \pm 1,0$  (при меньшем объеме ФР) до  $1,9 \pm 0,8$  (при большем объеме ФР и меньшем – КС), и до  $1,1 \pm 0,3$  при протоколе сплит-болюс. При этом дробное введение КС не снижало качество перфузионных карт, сохранялась высокая степень контрастирования легочных артерий.

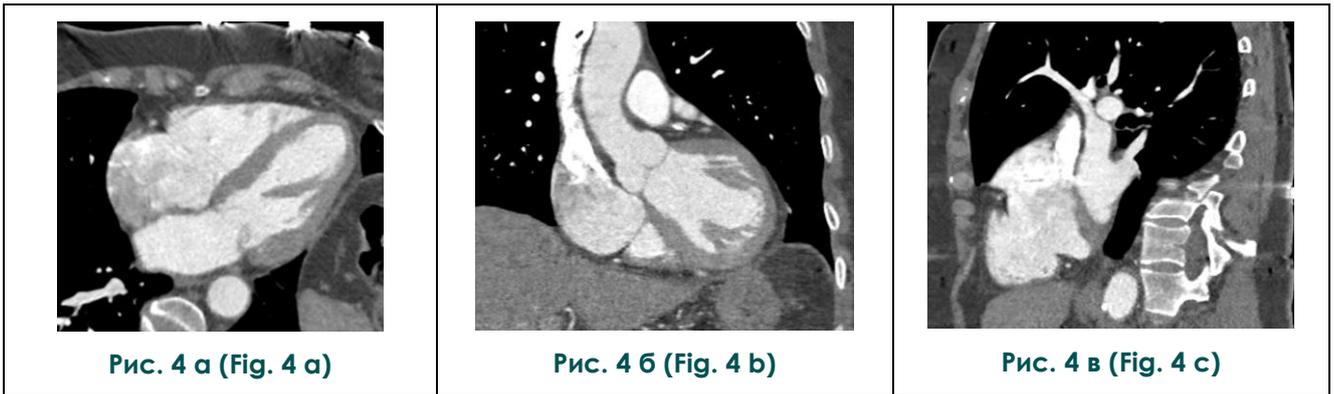
Эффективность методики сплит-болюс для улучшения контрастного усиления правых отделов сердца была доказана рядом исследований, однако не было единого мнения об оптимальной степени разведения КС во второй фазе, значения которой варьируют у разных исследователей от 10% до 70% [12, 15, 16]. С целью определения данного значения, Lu с соавт. сравнили между собой варианты протокола сплит-болюс с соотношением КС:ФР в смеси 30%:70%, 50%:50% и 70%:30%, а также с монофазным введением [14]. Исследователи отметили, что дробное введение КС приводит к более продолжительному контрастному усилению полости ПП, ПЖ и ЛП. Плотность крови в ПП и ПЖ при монофазном КУ не превышала 190 HU и 197 HU, соответственно. Дифференцировка анатомических структур правых камер была возможна при всех протоколах сплит-болюс. В зависимости от содержания КС во второй фазе показатель средней плотности крови составил для ПП и ПЖ: при 30% –  $202,7 \pm 85,0$  HU и  $230,6 \pm 68,6$  HU; при 50% –  $277,4 \pm 97,3$  HU и  $323,8 \pm 78,7$  HU; при 70% –  $306,6 \pm 108,8$  HU и  $367,0 \pm 83,3$  HU. Таким образом,

с повышением степени разведения КС во вторую фазу снижалась плотность контрастирования крови в правых камерах, тогда как плотность крови в ЛЖ, коронарных артериях и восходящей аорте существенно не отличалась. Что касается артефактов в ВПВ, то применение преследователя болюса в монофазном протоколе сводило их возникновение к минимуму (с 41,7% до 2,1%). При дробном введении КС артефакты возникали в 12,5-23% случаев, и их частота значимо не зависела от степени разведения КС.

Обобщая вышеописанные и ряд других исследований, Goralan отметил, что для оптимизации контрастного усиления правого желудочка необходимо использование технологии КУ сплит-болюс [18]. При этом если необходимо одновременное контрастирование легочного ствола, введение преследователя болюса рекомендовано отменить. Необходимо использовать КС с высокой концентрацией йода (320-370 мг/мл) для получения целевого артериального усиления, а также установить высокую скорость введения (около 5 мл/сек) в течение всего периода инфузии для снижения эффекта венозного возврата из НПВ.

Еще одной методикой, появившейся сравнительно недавно, является модифицированная технология сплит-болюс с введением предварительного болюса. Изначально она нашла применение для повышения точности дифференцировки эффекта замедленного контрастирования и тромбоза ушка левого предсердия без добавления отсроченной фазы сканирования [19]. При повышенной трабекулярности ушка ЛП или на фоне нарушения сократимости предсердий при ФП, приводящей к неполному перемешиванию поступившего в левое предсердие контрастного средства, возникающие в раннюю артериальную фазу псевдодефекты наполнения трудно дифференцировать от истинных тромботических масс [20, 21]. Добавление в протокол КТ-исследования сердца отсроченной фазы сканирования повышает диагностическую точность КТ и делает её соизмеримой с чреспищеводной ЭхоКГ, однако повышает лучевую нагрузку на пациента [22]. При введении предварительного болюса, а затем, после паузы, введения основного болюса КС и выполнении сканирования на его фоне, за один цикл стало возможным получить артериальную фазу для визуализации полости ЛП и устьев легочных вен и отсроченную – для ушка ЛП [19, 21].

Scialpi с соавт. применяли модифицированную методику сплит-болюс для обследования пациентов с подозрением на тром-



**Рис. 4.** Пример КТ сердца пациента из II группы (контрастное усиление по методике сплит-болюс), артериальная фаза: а – аксиальная реконструкция, б – коронарная реконструкция, в – мультипланарная реконструкция на уровне предсердий.

Гетерогенность контрастного усиления полости ПП за счет смешивания высококонтрастированной крови из ВПВ и низкой плотности – из НПВ. Высокая контрастность и гомогенность контрастирования левых отделов сердца, правого желудочка.

**Fig. 4.** Cardiac CT of a patient from II group (split-bolus contrast enhancement), arterial phase: a – axial reconstruction, b – coronal reconstruction, c – multiplanar reconstruction at atrial level.

Contrast enhancement heterogeneity of right atrium due to mixing of high-density blood from superior vena cava and low-density blood from inferior vena cava. High contrast and homogeneity of left cardiac chambers, right ventricle.

боэмболию легочных артерий [23]. При этом предварительный болюс включал в себя введение КС из расчета 1,2 мл на кг веса, с последующим введением 20 мл ФР (скорость 1,5-2 мл/сек) для адекватного контрастного усиления легочных вен, далее основной болюс – введение 60 мл КС и 20 мл ФР со скоростью 3,5 мл/сек для контрастирования легочных артерий. Исследователи отметили достаточно высокое контрастирование легочного ствола и легочных артерий (более 330 HU) и таргетных легочных вен (более 250 HU), что позволило подтвердить наличие тромбов в ветвях легочной артерии у 22 из 40 пациентов. Измерение плотности крови в камерах сердца, за исключением левого предсердия, не проводилось. Линейные артефакты от ВПВ визуализировались в 4 случаях, и не мешали интерпретации состояния правой легочной артерии. Авторы отметили, что в исследовании участвовали пациенты с массой тела от 55 до 71 кг, соответственно максимальный объем введенного КС составил 150 мл, а при повышении веса вырастет требуемое количество КС. Из этого следует вывод, что данный протокол необходимо корректировать для пациентов с повышенной массой тела, которая часто ассоциирована с коморбидностью по заболеваниям сердечно-сосудистой системы.

Представленные наблюдения показывают высокую точность применения предва-

рительного болюса контрастного средства для диагностики тромбоза ушка левого предсердия при снижении суммарной лучевой нагрузки на пациента, а также атеросклеротического поражения коронарных артерий. Однако ни в одном из исследований не оценивалось влияние данной методики контрастного усиления на качество визуализации всех камер сердца, поэтому мы поставили перед собой данную цель.

В нашем исследовании дробное введение КС применялось у пациентов во II группе – «классический» сплит-болюс (рис. 3, 4), и III группе – с введением предварительного болюса (рис. 5, 6). Плотность контрастированной крови в ПЖ во II группе составила  $241,2 \pm 72,3$  HU, в III группе  $258,7 \pm 64,8$  HU ( $p < 0.001$ ), гомогенность контрастного усиления была сходной, значение VM-RV составило во II группе  $0,52 \pm 0,24$ , в III группе  $0,55 \pm 0,24$  ( $p < 0.001$ ), что более чем в 2,5 раза превышало значения для монофазного протокола. Это позволило улучшить визуализацию трикуспидального и клапана легочной артерии, папиллярных мышц, выделение контуров эндокарда.

Удлинение времени введения КС закономерно приводило к формированию артефактов в верхней полой вене за счет хвоста болюса, наблюдавшихся во II группе в 84% случаев, из них – 22% (6 пациентов) – выраженных, затрудняющих визуализацию при

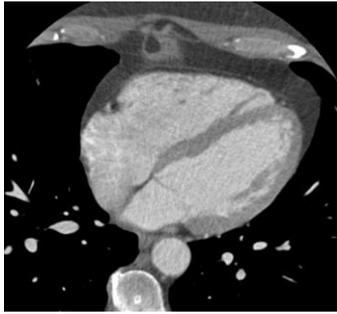


Рис. 5 а (Fig. 5 а)

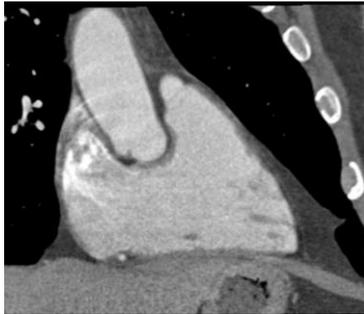


Рис. 5 б (Fig. 5 б)



Рис. 5 в (Fig. 5 с)

**Рис. 5.** Пример КТ сердца пациента из III группы (контрастное усиление по методике с предварительным болюсом): артериальная фаза: а – аксиальная реконструкция, б – коронарная реконструкция, в – мультипланарная реконструкция на уровне желудочков.

По сравнению с протоколом сплит-болюс, повышение гомогенности правых отделов сердца и меньшая выраженность артефактов в ВПВ.

**Fig. 5.** Cardiac CT of patient from III group (contrast enhancement with preliminary bolus), arterial phase: а – axial reconstruction, б – coronal reconstruction, с – multiplanar reconstruction at ventricular level.

It's determined an increasing in homogeneity of the right chambers and a lower intensity of artifacts in superior vena cava compared to the split-bolus protocol.



Рис. 6 а (Fig. 6 а)

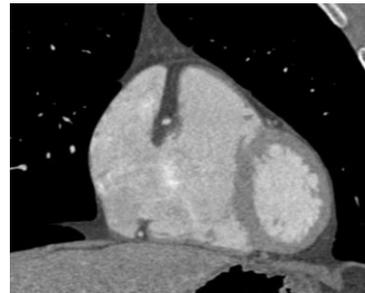


Рис. 6 б (Fig. 6 б)

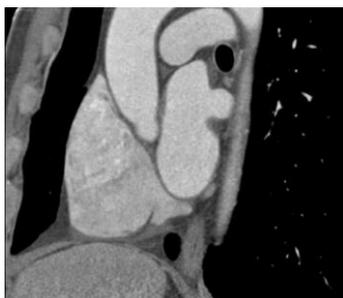


Рис. 6 в (Fig. 6 с)

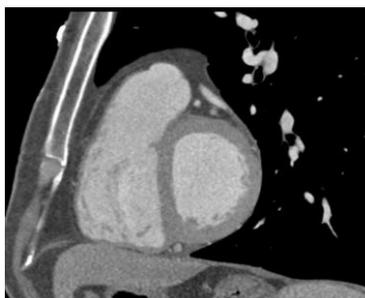


Рис. 6 г (Fig. 6 д)

**Рис. 6.** Пример КТ сердца пациента из III группы (контрастное усиление по методике с предварительным болюсом): а – аксиальная реконструкция, б – коронарная реконструкция, в, г – мультипланарные реконструкции на уровне предсердий и желудочков соответственно.

Высокая степень и однородность контрастирования правых и левых отделов сердца.

**Fig. 6.** Cardiac CT of patient from III group (contrast enhancement with preliminary bolus), arterial phase: а – axial reconstruction, б – coronal reconstruction, с, д – multiplanar reconstruction at atrial and ventricular levels, respectively.

High and homogeneous contrast enhancement of right and left cardiac chambers.

лежащих структур. Гетерогенность контрастного усиления полости ПП во II группе за счет смешивания высокоплотного контрастного средства из ВПВ и неконтрастированной крови низкой плотности из НПВ также снижала точность дифференцировки границ эндокарда правого предсердия.

Для повышения плотности крови в НПВ мы применяли предварительный болюс в III группе пациентов. Эффективность предварительного болюса отражает средняя плотность крови в печеночном сегменте НПВ: в I и II группах средние значения составили  $73,5 \pm 18,4$  HU и  $80,4 \pm 34,3$  HU, тогда как в III группе –  $123,0 \pm 36,7$  HU ( $p < 0.001$ ). Также было отмечено повышение средней плотности коронарного синуса до  $175,3 \pm 49,0$  HU (при монофазном КУ составляло  $127,3 \pm 35,4$  HU, сплит-болюс –  $138,8 \pm 37,2$  HU,  $p < 0.001$ ). За счет смешивания в полости ПП контрастированной крови из обеих полых вен достигалось повышение гомогенности контрастного усиления правых отделов сердца, в частности предсердия (рис. 5, 6). В итоге мы отметили повышение средней плотности контрастированной крови в ПП с  $269,1 \pm 81,3$  HU во II группе до  $290,1 \pm 81,3$  HU в III группе ( $p < 0.001$ ). Частота артефактов в ВПВ в III группе оставалась на том же уровне (82%), однако частота выраженных снизилась до 4% (1 пациент).

#### Заключение.

Применявшиеся в данном исследовании протоколы контрастного усиления, как

монофазный, так и с дробным введением контрастного средства, обеспечивают достаточное и гомогенное контрастирование левого предсердия и желудочка, аорты, легочного ствола. Применение преследователя болюса уменьшает вероятность артефактов от верхней полой вены, в то же время снижает степень контрастного усиления правых отделов. Необходимость одномоментной визуализации правых и левых отделов сердца при планировании интервенционного лечения аритмий требует перехода от стандартного монофазного контрастного усиления к более сложным протоколам введения контрастного средства и физиологического раствора. В частности, технологии контрастирования сплит-болюс и с введением предварительного болюса значительно улучшают визуализацию правых отделов сердца. При этом частота возникновения артефактов существенно не отличается, однако при использовании технологии с введением предварительного болюса уменьшается частота выраженных. Для более точной дифференцировки эндокардиального контура правого предсердия предпочтительно использование технологии контрастного усиления с предварительным болюсом.

#### Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

#### 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. Worldwide epidemiology of atrial fibrillation: a Global Burden of Disease 2010 Study. *Circulation*. 2014; 129: 837-847. DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.113.005119.
2. Khurshid S., Choi S.H., Weng L.C., Wang E.Y., Trinquart L., Benjamin E.J., Ellinor P.T., Lubitz S.A. Frequency of Cardiac Rhythm Abnormalities in a Half Million Adults. *Circ Arrhythm Electrophysiol*. 2018; 11(7): e006273. DOI:10.1161/CIRCEP.118.006273.
3. 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 N.M.S.N., 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. 2017 HRS/EHRA/ECAS/APHS/SOLAECE expert consensus statement on catheter and surgical ablation of atrial fibrillation. *EP Europace*. 2018; 20 (1) :e1-e160. DOI: 10.1093/europace/eux274.
4. Рабочая группа Европейского Общества Кардиологов (ESC) по лечению пациентов с желудочковыми нарушениями ритма и профилактике внезапной сердечной смерти. При участии: Европейской Ассоциацией Детских кардиологов и Специалистов по лечению врожденных состояний в кардиологии (ЕАДЦ). Рекомендации ESC по лечению пациентов с желудочковыми нарушениями ритма и профилактике внезапной сердечной смерти 2015. *Российский кардиологический журнал* 2016, 7 (135): 5-86. DOI: 10.15829/1560-4071-2016-7-5-86.
5. Imanli H., Bhatti S., Jeudy J., Ghzally Y., Ume K., Vunnam R., Itah R., Amit M., Duell J., See V., Shorofsky S., Dickfeld T.M. Validation of a novel CARTOSEG™ segmentation module software for contrast-enhanced computed tomography-guided radiofrequency ablation in patients with atrial fibrillation.

- Pacing Clin Electrophysiol.* 2017; 40 (11): 1206-1212. DOI:10.1111/pace.13189.
6. Utsunomiya D., Awai K., Sakamoto T., Nishiharu T., Urata J., Taniguchi A., Nakaura T., Yamashita Y. Cardiac 16-MDCT for anatomic and functional analysis: assessment of a biphasic contrast injection protocol. *AJR Am J Roentgenol.* 2006; 187 (3): 638-44. DOI:10.2214/AJR.05.0612.
7. Cronin E.M., Bogun F.M., Maury P., Peichl P., Chen M., Namboodiri N., Aguinaga L., Leite L.R., Al-Khatib S.M., Anter E., Berruezo A., Callans D.J., Chung M.K., Cuculich P., d'Avila A., Deal B.J., Della Bella P., Deneke T., Dickfeld T.M., Hadid C., Haqqani H.M., Kay G.N., Latchamsetty R., Marchlinski F., Müller J.M., Nogami A., Patel A.R., Pathak R.K., Saenz Morales L.C., Santangeli P., Sapp J.L.Jr., Sarkozy A., Soejima K., Stevenson W.G., Tedrow U.B., Tzou W.S., Varma N., Zeppenfeld K. 2019 HRS/EHRA/APHRS/LAHRs expert consensus statement on catheter ablation of ventricular arrhythmias: Executive summary. *Heart Rhythm.* 2019; pii: S1547-5271(19)30236-X. DOI:10.1016/j.hrthm.2019.03.014.
8. Muhl C., Maas M., Turek J., Seehofnerova A., Leijenaar R.T., Kok M., Lobbes M.B., Wildberger J.E., Das M. Contrast media administration in coronary computed tomography angiography – a systematic review. *Fortschr Röntgenstr.* 2017; 189: 312–325. DOI:10.1055/s-0042-121609.
9. Cademartiri F., Mollet N., van der Lugt A., Nieman K., Pattynama P.M., de Feyter P.J., Krestin G.P. Non-invasive 16-row multislice CT coronary angiography: usefulness of saline chaser. *Eur Radiol.* 2004; 14: 178-183. DOI:10.1007/s00330-003-2188-x.
10. Setty B.N., Sahani D.V., Ouellette-Piazzo K., Hahn P.F., Shepard J.A. Comparison of enhancement, image quality, cost, and adverse reactions using 2 different contrast medium concentrations for routine chest CT on 16-slice MDCT. *J Comput Assist Tomogr.* 2006; 30 (5): 818-22. DOI:10.1097/01.rct.0000229999.30897.3b.
11. Funabashi N., Suzuki K., Terao M., Maeda F., Nakamura K., Mita Y., Asano M., Kudo M., Suzuki K., Kurokawa M., Komuro I. New acquisition method to exclusively enhance the left side of the heart by a small amount of contrast material achieved by multislice computed tomography with 64 data acquisition system. *Int J Cardiol.* 2007; 114: 265-269. DOI:10.1016/j.ijcard.2005.11.066.
12. Kerl J.M., Ravenel J.G., Nguyen S.A., Suranyi P., Thilo C., Costello P., Bautz W., Schoepf U.J. Right heart: split-bolus injection of diluted contrast medium for visualization at coronary CT angiography. *Radiology.* 2008; 247 (2): 356-64. DOI:10.1148/radiol.2472070856.
13. Терновой С.К., Веселова Т.Н., Борисенко В.В., Благо-склонова Е.Р., Гаврилов А.В., Долотова Д.Д., Чеповский А.М., Серова Н.С. Неинвазивная оценка фракционного резерва коронарного кровотока по данным компьютер-
- ной томографии коронарных артерий с использованием гидродинамических расчетов. *REJR.* 2020; 10 (2): 71-77. DOI:10.21569/2222-7415-2020-10-2-71-77.
14. Lu J.G., Lv B., Chen X.B., Tang X., Jiang S.L., Dai R.P. What is the best contrast injection protocol for 64-row multi-detector cardiac computed tomography? *Eur J Radiol.* 2010; 75: 159-65. DOI:10.1016/j.ejrad.2009.04.035.
15. Scholtz J.E., Ghoshhajra B. Advances in cardiac CT contrast injection and acquisition protocols. *Cardiovasc Diagn Ther.* 2017; 7 (5): 439-451. DOI: 10.21037/cdt.2017.06.07.
16. Kondo M., Nagao M., Yonezawa M., Yamazaki Y., Shirasaka T., Nakamura Y., Honda H. Improvement of Automated Right Ventricular Segmentation Using Dual-Bolus Contrast Media Injection With 256-slice Coronary CT Angiography. *Acad Radiol.* 2014; 21 (5): 648-53. DOI: 10.1016/j.acra.2014.01.022.
17. Kerl J.M., Bauer R.W., Renker M., Weber E., Weisser P., Korkusuz H., Schell B., Larson M. C., Kromen W., Jacobi V., Vogl T.J. Triphasic contrast injection improves evaluation of dual energy lung perfusion in pulmonary CT angiography. *European journal of radiology.* 2011; 80 (3): 483-487. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2010.09.030>. DOI: 10.1016/j.ejrad.2010.09.030.
18. Gopalan D. Right heart on multidetector CT. *The British Journal of Radiology.* 2011; 84: 306-323. DOI: 10.1259/bjr/59278996.
19. Hur J., Kim Y.J., Lee H.J., Nam J.E., Hong Y.J., Kim H.Y., Lee J.W., Choi B.W. Cardioembolic stroke: dual-energy cardiac CT for differentiation of left atrial appendage thrombus and circulatory stasis. *Radiology.* 2012; 263 (3): 688-695. DOI:10.1148/radiol.12111691.
20. Wu X., Wang C., Zhang C., Zhang Y., Ding F., Yan J. Computed tomography for detecting left atrial thrombus: a meta-analysis. *Arch Med Sci.* 2012; 8 (6): 943-51. DOI:10.5114/aoms.2012.32400.
21. Teunissen C., Habets J., Velthuis B.K., Cramer M.J., Loh P. Double-contrast, single-phase computed tomography angiography for ruling out left atrial appendage thrombus prior to atrial fibrillation ablation. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2017; 33 (1): 121-128. DOI:10.1007/s10554-016-0973-2.
22. 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: 185-94. DOI:10.1161/CIRCIMAGING.112.000153.
23. Scialpi M., Rebonato A., Cagini L., Brunese L., Pisciolli I., Pierotti L., Bellantonio L., D'Andrea A., Rotondo A. Split-Bolus Single-Pass Multidetector-Row CT Protocol for Diagnosis of Acute Pulmonary Embolism. *Iran J Radiol.* 2016; 13 (1): e19844. DOI: 10.5812/iranradiol.19844.

## 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. Worldwide epidemiology of atrial fibrillation: a Global Burden of Disease 2010 Study. *Circulation.* 2014; 129: 837-847. DOI:10.1161/CIRCULATIONAHA.113.005119.
2. Khurshid S., Choi S.H., Weng L.C., Wang E.Y., Trinquart L., Benjamin E.J., Ellinor P.T., Lubitz S.A. Frequency of Cardiac Rhythm Abnormalities in a Half Million Adults. *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2018; 11(7): e006273. DOI:10.1161/CIRCEP.118.006273.

3. 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 N.M.S.N., 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. 2017 HRS/EHRA/ECAS/APHS/SOLAECE expert consensus statement on catheter and surgical ablation of atrial fibrillation. *EP Europace*. 2018; 20 (1): e1-e160. DOI: 10.1093/europace/eux274.
4. The Task Force for the Management of Patients with Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC). ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death. *Russ J Cardiol* 2016, 7 (135): 5-86. DOI:10.15829/1560-4071-2016-7-5-86 (in Russian).
5. Imanli H., Bhatti S., Jeudy J., Ghzally Y., Ume K., Vunnam R., Itah R., Amit M., Duell J., See V., Shorofsky S., Dickfeld T.M. Validation of a novel CARTOSEG™ segmentation module software for contrast-enhanced computed tomography-guided radiofrequency ablation in patients with atrial fibrillation. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2017; 40 (11): 1206-1212. DOI:10.1111/pace.13189.
6. Utsunomiya D., Awai K., Sakamoto T., Nishiharu T., Urata J., Taniguchi A., Nakaura T., Yamashita Y. Cardiac 16-MDCT for anatomic and functional analysis: assessment of a biphasic contrast injection protocol. *AJR Am J Roentgenol*. 2006; 187 (3): 638-44. DOI:10.2214/AJR.05.0612.
7. Cronin E.M., Bogun F.M., Maury P., Peichl P., Chen M., Namboodiri N., Aguinaga L., Leite L.R., Al-Khatib S.M., Anter E., Berruezo A., Callans D.J., Chung M.K., Cuculich P., d'Avila A., Deal B.J., Della Bella P., Deneke T., Dickfeld T.M., Hadid C., Haqqani H.M., Kay G.N., Latchamsetty R., Marchlinski F., Müller J.M., Nogami A., Patel A.R., Pathak R.K., Saenz Morales L.C., Santangeli P., Sapp J.L.Jr., Sarkozy A., Soejima K., Stevenson W.G., Tedrow U.B., Tzou W.S., Varma N., Zeppenfeld K. 2019 HRS/EHRA/APHS/LAHS expert consensus statement on catheter ablation of ventricular arrhythmias: Executive summary. *Heart Rhythm*. 2019; pii: S1547-5271(19)30236-X. DOI:10.1016/j.hrthm.2019.03.014.
8. Mühl C., Maas M., Turek J., Seehofnerova A., Leijenaar R.T., Kok M., Lobbjes M.B., Wildberger J.E., Das M. Contrast media administration in coronary computed tomography angiography – a systematic review. *Fortschr Röntgenstr*. 2017; 189: 312–325. DOI:10.1055/s-0042-121609.
9. Cademartiri F., Mollet N., van der Lugt A., Nieman K., Pattynama P.M., de Feyter P.J., Krestin G.P. Non-invasive 16-row multislice CT coronary angiography: usefulness of saline chaser. *Eur Radiol*. 2004; 14: 178-183. DOI:10.1007/s00330-003-2188-x.
10. Setty B.N., Sahani D.V., Ouellette-Piazza K., Hahn P.F., Shepard J.A. Comparison of enhancement, image quality, cost, and adverse reactions using 2 different contrast medium concentrations for routine chest CT on 16-slice MDCT. *J Comput Assist Tomogr*. 2006; 30 (5): 818-22. DOI:10.1097/01.rct.0000229999.30897.3b.
11. Funabashi N., Suzuki K., Terao M., Maeda F., Nakamura K., Mita Y., Asano M., Kudo M., Suzuki K., Kurokawa M., Komuro I. New acquisition method to exclusively enhance the left side of the heart by a small amount of contrast material achieved by multislice computed tomography with 64 data acquisition system. *Int J Cardiol* 2007; 114: 265-269. DOI:10.1016/j.ijcard.2005.11.066.
12. Kerl J.M., Ravenel J.G., Nguyen S.A., Suranyi P., Thilo C., Costello P., Bautz W., Schoepf U.J. Right heart: split-bolus injection of diluted contrast medium for visualization at coronary CT angiography. *Radiology*. 2008; 247 (2): 356-64. DOI:10.1148/radiol.2472070856.
13. Ternovoy S.K., Veselova T.N., Borisenko V.V., Blagoslonovalova E.R., Gavrilo A.V., Dolotova D.D., Chepovskiy A.M., Serova N.S. Noninvasive assessment of fractional flow reserve according to coronary computed tomography angiography using hydrodynamic calculations. *REJR*. 2020; 10(2):71-77. DOI:10.21569/2222-7415-2020-10-2-71-77 (in Russian).
14. Lu J.G., Lv B., Chen X.B., Tang X., Jiang S.L., Dai R.P. What is the best contrast injection protocol for 64-row multidetector cardiac computed tomography? *Eur J Radiol*. 2010; 75: 159-65. DOI:10.1016/j.ejrad.2009.04.035.
15. Scholtz J.E., Ghoshhajra B. Advances in cardiac CT contrast injection and acquisition protocols. *Cardiovasc Diagn Ther*. 2017; 7 (5): 439-451. DOI: 10.21037/cdt.2017.06.07.
16. Kondo M., Nagao M., Yonezawa M., Yamazaki Y., Shirasaka T., Nakamura Y., Honda H. Improvement of Automated Right Ventricular Segmentation Using Dual-Bolus Contrast Media Injection With 256-slice Coronary CT Angiography. *Acad Radiol*. 2014; 21 (5): 648-53. DOI: 10.1016/j.acra.2014.01.022.
17. Kerl J.M., Bauer R.W., Renker M., Weber E., Weisser P., Korkusuz H., Schell B., Larson M. C., Kromen W., Jacobi V., Vogl T.J. Triphasic contrast injection improves evaluation of dual energy lung perfusion in pulmonary CT angiography. *European journal of radiology*. 2011; 80 (3): 483-487. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2010.09.030>. DOI: 10.1016/j.ejrad.2010.09.030.
18. Gopalan D. Right heart on multidetector CT. *The British Journal of Radiology*. 2011; 84: 306-323. DOI: 10.1259/bjr/59278996.
19. Hur J., Kim Y.J., Lee H.J., Nam J.E., Hong Y.J., Kim H.Y., Lee J.W., Choi B.W. Cardioembolic stroke: dual-energy cardiac CT for differentiation of left atrial appendage thrombus and circulatory stasis. *Radiology*. 2012; 263 (3): 688-695. DOI:10.1148/radiol.12111691.
20. Wu X., Wang C., Zhang C., Zhang Y., Ding F., Yan J. Computed tomography for detecting left atrial thrombus: a meta-analysis. *Arch Med Sci*. 2012; 8 (6): 943-51. DOI:10.5114/aoms.2012.32400.
21. Teunissen C., Habets J., Velthuis B.K., Cramer M.J., Loh P. Double-contrast, single-phase computed tomography angi-

ography for ruling out left atrial appendage thrombus prior to atrial fibrillation ablation. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2017; 33 (1): 121-128. DOI:10.1007/s10554-016-0973-2.

22. 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:

185-94. DOI:10.1161/CIRCIMAGING.112.000153.

23. Scialpi M., Rebonato A., Cagini L., Brunese L., Pisciole I., Pierotti L., Bellantonio L., D'Andrea A., Rotondo A. Split-Bolus Single-Pass Multidetector-Row CT Protocol for Diagnosis of Acute Pulmonary Embolism. *Iran J Radiol*. 2016; 13 (1): e19844. DOI: 10.5812/iranradiol.19844.