

# Возможности гибридной однофотонной эмиссионной компьютерной томографии/ компьютерной томографии с $^{123}\text{I}$ -МИБГ для визуализации ганглиев автономной нервной системы сердца у здоровых добровольцев

Никитин Н.А.\* , Минин С.М., Шабанов В.В., Лосик Д.В., Романов А.Б.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. академика Е.Н. Мешалкина» Минздрава России, ул. Речкуновская, 15, Новосибирск, 630055, Российская Федерация

## Резюме

**Цель исследования** – изучить особенности распределения и визуализации ганглионарных сплетений левого предсердия (ГСЛП) у здоровых добровольцев.

**Материал и методы.** В исследование включены 15 здоровых добровольцев (медиана возраста 31 [26; 41] год). Участникам исследования последовательно были выполнены компьютерная томография (КТ) сердца и однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) с нейротропным радиофармацевтическим препаратом  $^{123}\text{I}$ -метайодбензилгуанидином (МИБГ). Полученные изображения были совмещены для выявления и оценки очагов симпатической активности (ОСА) в области левого предсердия. Выявленные ОСА были ранжированы с доверительной вероятностью (ДВ) на основании их соответствия анатомической локализации ГСЛП, а также дискретности и распространенности на окружающие структуры.

**Результаты.** Всего было выявлено 36 ОСА (медиана у одного участника – 2 [2; 3]), из них 20 (56%) имели низкий уровень ДВ (медиана у одного участника – 1 [1; 2]), 16 (44%) – промежуточный и/или высокий уровни ДВ (медиана у одного участника – 1 [1; 1]). У 3 участников исследования из 15 не было выявлено ни одного ОСА с промежуточной и/или высокой ДВ. ОСА с промежуточной и/или высокой ДВ наиболее часто соответствовали локализации левого и правого верхних ГСЛП (4 и 3 случая из 16 соответственно).

**Заключение.** Гибридная ОФЭКТ/КТ с нейротропным  $^{123}\text{I}$ -МИБГ позволяет выявлять у здоровых добровольцев очаги симпатической активности, соответствующие типичной локализации ганглионарных сплетений левого предсердия.

**Ключевые слова:** визуализация; сцинтиграфия; однофотонная эмиссионная компьютерная томография; метайодбензилгуанидин; автономная нервная система; ганглионарные сплетения; здоровые добровольцы; фибрилляция предсердий.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Исследование является частью проекта, поддержанного грантом Российского научного фонда № 17-75-20118.

**Для цитирования:** Никитин Н.А., Минин С.М., Шабанов В.В., Лосик Д.В., Романов А.Б. Возможности гибридной однофотонной эмиссионной компьютерной томографии/компьютерной томографии с  $^{123}\text{I}$ -МИБГ для визуализации ганглиев автономной нервной системы сердца у здоровых добровольцев. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2019; 100 (6): 314–20. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2019-100-6-314-320>

Статья поступила 15.03.2019

После доработки 26.04.2019

Принята к печати 06.05.2019

## Possibilities of Hybrid SPECT/CT with $^{123}\text{I}$ -MIBG for Visualizing the Ganglia of the Cardiac Autonomic Nervous System in Healthy Volunteers

Nikita A. Nikitin\*, Stanislav M. Minin, Vitaliy V. Shabanov, Denis V. Losik, Aleksandr B. Romanov

Meshalkin National Medical Research Center, Ministry of Health of the Russian Federation, ul. Rechkunovskaya, 15, Novosibirsk, 630055, Russian Federation

**Abstract**

**Objective** – to study the characteristics of the distribution and visualization of ganglionated plexuses in the left atrium (LAGP) in healthy volunteers.

**Objective and methods.** The investigation enrolled 15 healthy volunteers (median age 31 [26; 41] years). The investigation participants successively underwent cardiac computed tomography (CT) and SPECT using the neurotropic radiopharmaceutical  $^{123}\text{I}$ -MIBG. The obtained images were combined to identify and assess sympathetic activity foci (SAF) in the left atrium. The identified SAFs were ranked with a confidence probability (CP) on the basis of their correspondence to the anatomical location of LAGP, as well as the discreteness and prevalence of the surrounding structures.

**Results.** A total of 36 SAFs (median per participant was 2 [2; 3]) were identified; of them 20 (56%) had a low CP (median per participant was 1 [1; 2]); 16 (44%) had intermediate and/or high CP (median per participant was 1 [1; 1]). Three investigation participants (3/15) were found to have no SAFs with an intermediate and/or high CP. SAFs with an intermediate and/or high CP most frequently corresponded to the location of the left and right upper LAGPs (4/16 and 3/16 cases, respectively).

**Conclusion.** Hybrid SPECT/CT with the neurotropic  $^{123}\text{I}$ -MIBG allows the identification of SAFs in healthy volunteers, which correspond to the typical location of LAGPs.

**Keywords:** visualization; scintigraphy; SPECT; metaiodobenzylguanidine; autonomic nervous system; ganglionated plexuses; healthy volunteers; atrial fibrillation.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Funding.** Russian Science Foundation (project # 17-75-20118).

**For citation:** Nikitin N.A., Minin S.M., Shabanov V.V., Losik D.V., Romanov A.B. Possibilities of hybrid SPECT/CT with  $^{123}\text{I}$ -MIBG for visualizing the ganglia of the cardiac autonomic nervous system in healthy volunteers. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2019; 100 (6): 314–20 (in Russ.). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2019-100-6-314-320>

Received 15.03.2019

Revised 26.04.2019

Accepted 06.05.2019

**Введение**

Функционирование автономной нервной системы (АНС) является интегральной частью физиологии сердечной деятельности. Установлено, что нарушение иннервации сердца может быть фактором развития многих сердечно-сосудистых заболеваний [1]. В частности, в экспериментальных и клинических исследованиях была доказана роль симпатовагусного дисбаланса АНС в инициации и поддержании фибрилляции предсердий (ФП) [2, 3]. Внутрисердечная АНС представлена нейронными ганглиями (так называемыми ганглионарными сплетениями – ГС) и густой эпикардальной сетью аксонов, соединяющих между собой данные ганглии. Как правило, ГС сосредоточены в области задней стенки левого предсердия (ЛП) и вокруг устьев легочных вен (ЛВ), имеют переменные размеры (обычно 5–10 мм) и содержат как симпатические, так и парасимпатические элементы [4–6].

На сегодняшний день абляция ГСЛП для лечения рефрактерной к медикаментозной терапии ФП остается предметом дебатов. По данным ряда клинических исследований, абляция ГСЛП приводит к улучшению прогноза пациентов, однако свобода от ФП в течение 24 мес сохраняется лишь у 48–74% пациентов [7, 8]. Одной из возможных причин недостаточной эффективности процедуры считается отсутствие эффективного и точного метода определения локализации ГСЛП.

Как правило, при выборе участков абляции руководствуются типичной анатомической локализацией ГСЛП (анатомический подход) или используют высокочастотную стимуляцию (ВЧС) для выявления типичной вагусной реакции как маркера наличия в данной области ГСЛП [9]. При этом оба подхода имеют ряд недостатков. Так, ВЧС обладает низкой чувствительностью и специфичностью, является инвазивной процедурой и занимает достаточно длительное время [10]. В свою очередь, анатомический подход не учитывает индивидуальные особенности распределения ГСЛП у конкретного пациента, что может служить причиной неполного воздействия на ГСЛП.

Для неинвазивной оценки внутрисердечной АНС активно используют методики радиологической визуализации с нейротропными радиофармпрепаратами (РФП), в частности однофотонную эмиссионную компьютерную томографию (ОФЭКТ) с метайодбензилгуанидином, меченным йодом-123 ( $^{123}\text{I}$ -МИБГ). Данный РФП является структурным аналогом медиатора норадреналина и отражает процессы его захвата, накопления и высвобождения в симпатических нервных окончаниях [11]. В клинических исследованиях была показана роль ОФЭКТ сердца с  $^{123}\text{I}$ -МИБГ для оценки прогнозов у пациентов с пароксизмальной формой ФП [12, 13], определения исходов катетерной абляции ФП [14] и оценки денервации/реиннервации миокарда левого желудочка после абляции ФП [15].

В последнее время появились сообщения о возможности неинвазивной визуализации очагов симпатической активности (ОСА), соответствующих локализации ГСЛП, у пациентов с ФП путем совмещения анатомических данных компьютерной томографии (КТ) сердца и данных физиологического накопления  $^{123}\text{I}$ -МИБГ, полученных при ОФЭКТ [16, 17]. Эта методика выглядит перспективной, поскольку может предоставить дополнительную информацию о локализации ГСЛП и, возможно, заменить ВЧС.

Вместе с тем в литературе отсутствует информация о наличии, распределении и особенностях визуализации ГСЛП у здоровых добровольцев. Сопоставление данных неинвазивной визуализации у пациентов с ФП и здоровых людей, возможно, позволит выявить отличительные паттерны ГСЛП, являющихся причинными в развитии и поддержании ФП.

### Материал и методы

**Дизайн исследования и его участники.** Исследование было выполнено в соответствии со стандартами надлежащей клинической практики (Good clinical practice) и принципами Хельсинкской декларации. Протокол исследования был одобрен экспертным советом и локальным этическим комитетом НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина. У всех участников исследования было получено письменное информированное согласие.

Всем участникам исследования последовательно были проведены КТ сердца и ОФЭКТ сердца с  $^{123}\text{I}$ -МИБГ с последующим совмещением данных и получением гибридных изображений распределения РФП в структурах сердца.

Критериями включения в исследование являлись возраст 18–75 лет, добровольное желание участвовать в исследовании и подписанное информированное согласие. Критериями исключения были заболевания сердечно-сосудистой системы, беременность, сахарный диабет, заболевания почек, противопоказания к введению йодсодержащего контрастного вещества или  $^{123}\text{I}$ -МИБГ.

**Компьютерная томография сердца.** Сбор данных выполняли на широкодетекторном аппарате Toshiba Aquilion ONE (Toshiba Medical Systems Corp., Japan) с проспективной ЭКГ-синхронизацией и внутривенным болюсным контрастированием, использовали все доступные инструменты для снижения лучевой нагрузки в соответствии с принципом ALARA. Низкоосмолярный рентгеноконтрастный препарат (РКП) с содержанием йода 350–370 мг/мл вводили с помощью автоматического инжектора со скоростью 4–5 мл/с, использовали двухфазный протокол введения РКП (первая фаза – 100% РКП, вторая фаза – смесь, состоящая из 30% РКП и 70% физиологического раствора) с последующим болюсом физиологического раствора. Реконструкцию изображений выполняли в фазу диастолы (70–80% интервала R-R). При обработке полученных изображений проводили сегментацию камер и магистральных сосудов, построение 3D-модели сердца в доступном программном обеспечении (рис. 1).

**ОФЭКТ сердца с  $^{123}\text{I}$ -МИБГ.** Для профилактики накопления  $^{123}\text{I}$ -МИБГ в щитовидной железе всем участникам исследования был рекомендован пероральный прием калия йодида в дозировке 200 мг/сут в течение трех дней до процедуры и трех

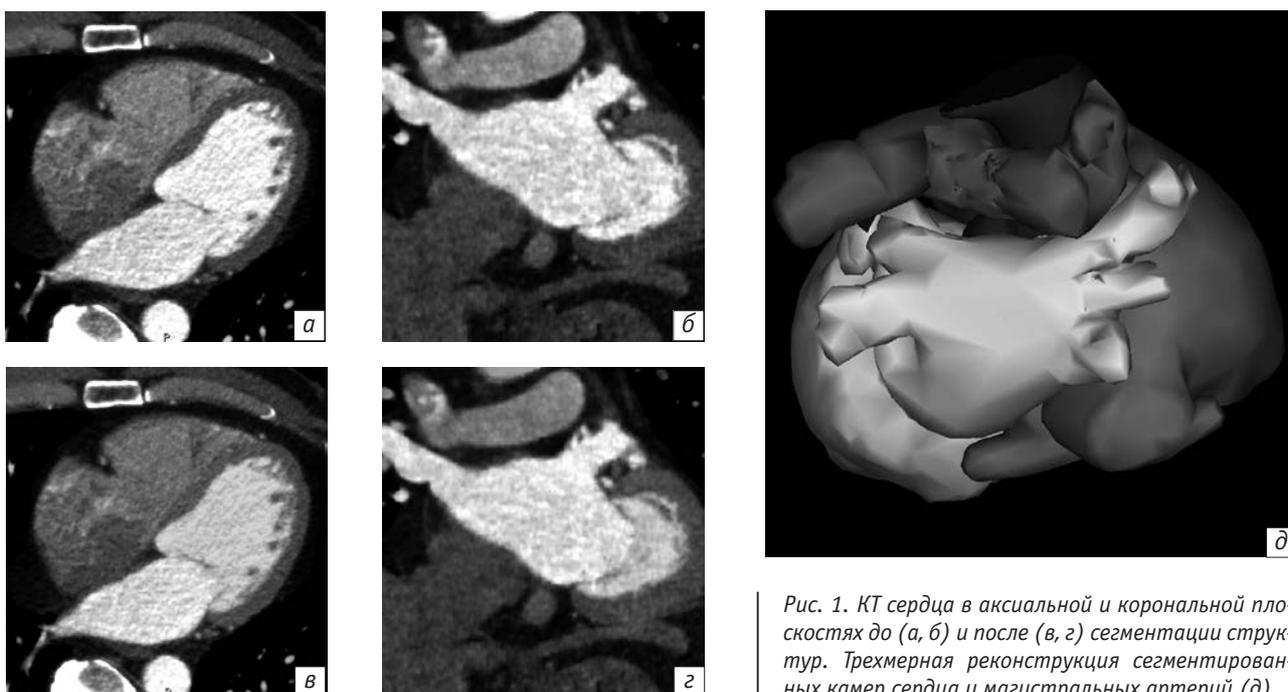


Рис. 1. КТ сердца в аксиальной и коронарной плоскостях до (а, б) и после (в, г) сегментации структур. Трехмерная реконструкция сегментированных камер сердца и магистральных артерий (д)

дней после процедуры. Сбор данных выполняли с кардиореспираторной синхронизацией через 360 мин после внутривенного введения 300–370 МБк  $^{123}\text{I}$ -МИБГ. Использовали гамма-камеру, оснащенную твердотельными кадмий-цинк-теллуровыми (CZT) детекторами. Продолжительность сбора данных составляла 20 мин. Реконструкцию изображений выполняли в высокоразрешающем режиме (размер воксела  $2,46 \text{ мм}^3$ ), в фазу выдоха и диастолы кардиоцикла (для минимизации динамических артефактов от движения сердца), с использованием алгоритма итеративной реконструкции. Коррекция поглощения импульсов не применялась. Более подробное описание методики сбора данных можно найти в работе J. Stirrup et al. [17].

**Получение гибридных изображений.** Данные о распределении  $^{123}\text{I}$ -МИБГ в структурах сердца были получены путем совмещения КТ- и ОФЭКТ-изображений с ручной корректировкой положения срезов по трем взаимно перпендикулярным осям ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). В качестве референтной структуры использовали контуры миокарда левого желудочка (ЛЖ). Полученные гибридные данные представляли собой серии изображений в аксиальной и коро-

нальной плоскостях, а также 3D-карты поверхностей сердца (рис. 2).

**Анализ гибридных изображений.** Анализ включал выявление очагов накопления  $^{123}\text{I}$ -МИБГ (очаги симпатической активности) в области ЛП, описание их анатомического расположения по отношению к устьям ЛВ и стенкам ЛП, определение средней активности ОСА, выраженной в количестве импульсов в секунду с миллилитра объема (имп/с/мл). Выявленные ОСА были ранжированы на три уровня достоверности (ДВ) на основании дискретности (достаточно четкий контур во всех плоскостях), распространенности на окружающие структуры (например, миокард ЛЖ, легкие) и соответствия известной анатомической локализации ГС. ОСА, прилежащие к структурам с повышенным накоплением РФП (базальные отделы стенок ЛЖ, легкие, пищевод), были ранжированы с низким уровнем ДВ или исключены из анализа. ОСА, отвечающие всем трем критериям (дискретность, отграниченность от прилежащих структур, соответствие локализации, типичной для ГСЛП), были ранжированы с высокой ДВ, двум или одному критерию – с промежуточной или низкой ДВ соответственно.

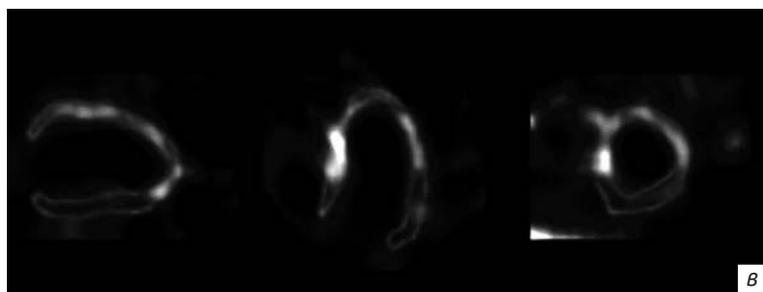
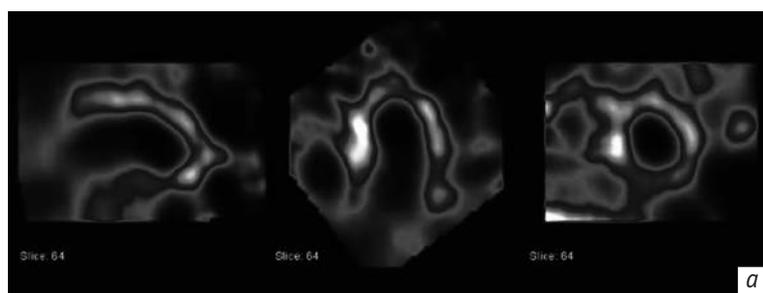


Рис. 2. ОФЭКТ с  $^{123}\text{I}$ -МИБГ (а), КТ сердца (б), совмещенные данные ОФЭКТ с  $^{123}\text{I}$ -МИБГ и КТ (в) в плоскостях по вертикальной, горизонтальной и короткой осям ЛЖ. Трехмерная реконструкция совмещенных данных ОФЭКТ/КТ с  $^{123}\text{I}$ -МИБГ (z)

Таблица 1

Демографические и клинические характеристики участников исследования	
Характеристики	Здоровые добровольцы (n=15)
Медиана возраста, лет	31 [26; 41]
Женский пол, n (%)	7 (47)
Медиана индекса массы тела, кг/м <sup>2</sup>	24 [22; 26]
Курильщики, n (%)	4 (27)
Наличие сердечно-сосудистых заболеваний, n (%)	0

**Статистический анализ.** Непрерывные данные представлены в виде медианы и интерквартильной широты (значения 25-го и 75-го перцентилей распределения), независимые выборки сравнивались с помощью U-критерия Манна–Уитни. Категориальные данные представлены как абсолютные значения, доли или проценты.

### Результаты

В исследование были включены 15 здоровых добровольцев (из них 7 женщин), медиана возраста составила 31 год (от 26 лет до 41 года). Демографические и клинические характеристики испытуемых представлены в таблице 1.

Всего было выявлено 36 ОСА (медиана у одного участника составила 2 [2; 3]), из них 20 имели низкий уровень ДВ (56%, медиана у одного участника – 1 [1; 2]), 16 имели промежуточный и высокий уровни ДВ (44%, медиана у одного участника – 1 [1; 1]). У 3 из 15 участников исследования не было выявлено ни одного ОСА с промежуточной и/или высокой ДВ. Подробные ха-

Таблица 2

Характеристики выявленных ОСА у участников исследования	
Характеристики	Здоровые добровольцы (n=15)
Общее количество ОСА, n	36
медиана у одного участника	2 [2; 3]
медиана активности, имп/с/мл	1488 [1200; 1971]
ОСА с низкой ДВ, n (% от общего количества ОСА)	20 (56)
медиана у одного участника	1 [1; 2]
медиана активности, имп/с/мл	1532 [1052; 1772]
ОСА с промежуточной и высокой ДВ, n (% от общего количества ОСА)	16 (44)
медиана у одного участника	1 [1; 1]
медиана активности, имп/с/мл	1418 [1240; 1940]

рактеристики выявленных ОСА представлены в таблице 2.

Очаги симпатической активности с низким уровнем ДВ чаще (по 4 из 20 случаев) были расположены в области устьев правых верхней и нижней ЛВ, в области устья левой нижней ЛВ. ОСА с промежуточной и высокой ДВ с большей частотой локализовались в области устья левой верхней ЛВ – в 4 из 16 случаев и в области устья правой верхней ЛВ – в 3 из 16 случаев. Пример визуализации ОСА с высокой ДВ представлен на рисунке 3.

Медиана активности ОСА с низкой ДВ составила 1532 имп/с/мл [1052; 1772 имп/с/мл], ОСА с промежуточной и высокой ДВ – 1418 имп/с/мл [1240; 1940 имп/с/мл]. Различия между медианами активности ОСА с низкой ДВ и промежуточной-высокой ДВ были статистически незначимыми ( $p=0,68$ ).

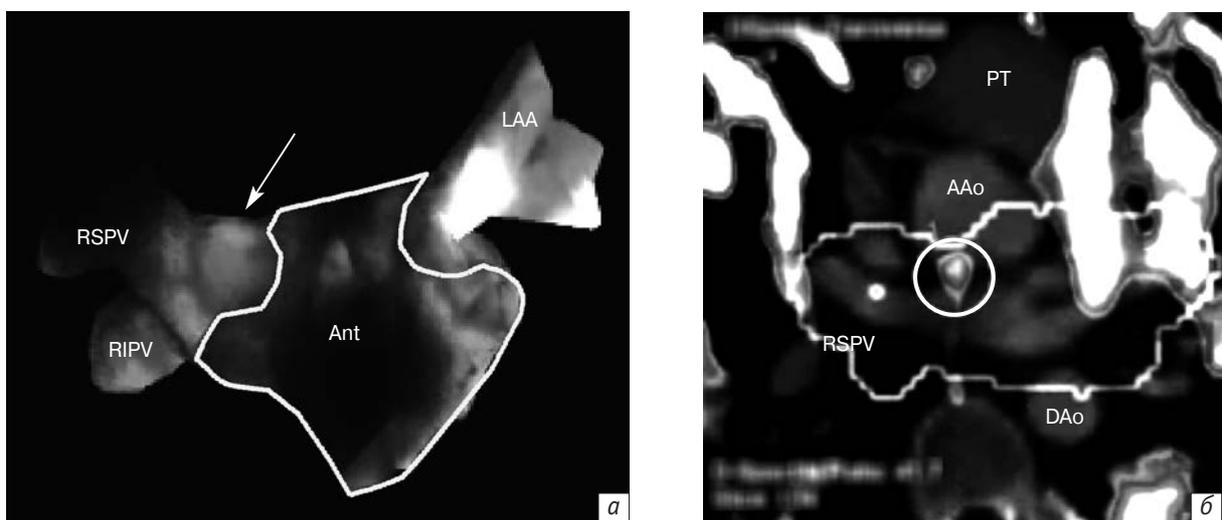


Рис. 3. Трехмерная реконструкция (а) и совмещенная ОФЭКТ/КТ с <sup>123</sup>I-МИБГ в аксиальной плоскости (б). Стрелкой и окружностью указан ОСА с высокой достоверной вероятностью в области устья правой верхнедолевой легочной вены.

RSPV – правая верхнедолевая легочная вена; RIPV – правая нижнедолевая легочная вена; Ant – передняя стенка ЛП; LAA – ушко ЛП; AAo – восходящая аорта; DAo – нисходящая аорта; PT – легочный ствол

## Обсуждение

В данном исследовании было показано наличие у здоровых добровольцев очагов симпатической активности в участках, соответствующих типичной локализации предсердных ГС внутрисердечной АНС, а также представлены их основные паттерны визуализации.

Разработка и внедрение в клиническую практику специализированных кардиологических гамма-камер с CZT-детекторами позволило значительно улучшить пространственное разрешение получаемых изображений (5 мм по сравнению с 10 мм и более у плоскодетекторных систем) [18]. Таким образом, целесообразно предположить, что изображения, полученные на данных гамма-камерах, позволяют выявлять и оценивать структуры величиной порядка 5–10 мм, такие как ГС [4].

Мы расценивали очаговое накопление  $^{123}\text{I}$ -МИБГ (ОСА), отграниченное от окружающих участков накопления РФП в легких и других структурах, как высоковероятный признак ГСЛП. Возможно, морфологически данную отграниченность создает эпикардальная жировая ткань. Стоит отметить, что этот подход позволил J. Stirrup et al. [17] повысить корреляцию с данными высокочастотной стимуляции (с 49 до 76%) в выявлении ГСЛП. В нашем исследовании наличие данного признака было отмечено лишь у 16 (44%) ОСА, остальные ОСА были так или иначе связаны с окружающими участками накопления  $^{123}\text{I}$ -МИБГ.

Наличие у здоровых добровольцев очагов физиологического накопления нейротропного РФП  $^{123}\text{I}$ -МИБГ в анатомических областях, типичных для локализации ГСЛП, подтверждает представление о структурной организации внутрисердечной АНС. Так, в работе D.H. Pauza et al. было показано, что наибольшая плотность нейронов АНС сосредоточена по задней стенке ЛП, в области мест впадения легочных вен в полость ЛП [5]. Кроме этого, было отмечено, что ГС имеют гетерогенную структуру, состоят из афферентных и эфферентных нейронов, а также содержат симпатические и парасимпатические нейротрансмиттеры [6]. Более того, в исследовании J. Stirrup et al. в 79–92% случаев был получен позитивный ответ на ВЧС в обла-

сти визуализированных ОСА [17]. Таким образом, визуализация ОСА в области устьев ЛВ с высокой вероятностью может указывать на наличие здесь симпатических элементов ГСЛП.

Ранее у пациентов с ФП были определены номенклатура и типичная локализация основных ГСЛП: так, правое переднее ГС локализуется кпереди от устья правой верхней ЛВ, левое верхнее ГС – на крыше ЛП, на 1–2 см медиальнее устья левой верхней ЛВ, правое и левое нижние ГС – в нижней части задней стенки ЛП, на 2–3 см ниже устья правой и левой нижних ЛВ соответственно. По нашим данным, большинство здоровых добровольцев имеют ОСА в участках, типичных для локализации ГСЛП. Это наблюдение подтверждает тот факт, что ГСЛП, являясь структурной частью внутрисердечной АНС, участвуют в модуляции нормального сердечного ритма.

В работе J. Stirrup et al. [17] у пациентов с ФП медиана активности ОСА, выраженная в количестве импульсов в секунду с миллилитра объема, независимо от уровня доверительной вероятности составляла 1540 [972; 2014]. Это значение сопоставимо с данными, полученными в нашем исследовании у здоровых добровольцев. Таким образом, остается открытым вопрос об особенностях визуализации ГС, являющихся причиной развития ФП и потенциальным объектом аблации для лечения ФП. Сравнительный анализ паттернов ГС между здоровыми добровольцами и пациентами с ФП, вероятно, позволит сделать предположение о признаках нарушения функционирования ГСЛП.

## Заключение

Гибридная ОФЭКТ/КТ с нейротропным  $^{123}\text{I}$ -МИБГ позволяет выявлять у здоровых добровольцев очаги симпатической активности в участках левого предсердия, соответствующих типичной локализации ганглионарных сплетений внутрисердечной автономной нервной системы. Сравнение очагов визуализации ганглионарных сплетений у пациентов с ФП и здоровых людей, возможно, позволит выявить отличительные характеристики ганглионарных сплетений, являющихся причинными в развитии и поддержании фибрилляции предсердий.

## Литература [References]

- Slart R.H.J.A., Tio R.A., Elsinga Ph.H., Schwaiger M. Autonomic innervation of the heart: role of molecular imaging. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag; 2015.
- Scherlag B.J., Nakagawa H., Jackman W.M., Yamanashi W.S., Patterson E., Po S. et al. Electrical stimulation to identify neural elements on the heart: their role in atrial fibrillation. *J. Interv. Card. Electrophysiol.* 2005; 13 (Suppl. 1): 37–42.
- Katritsis D.G., Giazitzoglou E., Zografos T., Pokushalov E., Po S.S., Camm A.J. Rapid pulmonary vein isolation combined with autonomic ganglia modification: a randomized study. *Heart Rhythm.* 2011; 8 (5): 672–8. DOI: 10.1016/j.hrthm.2010.12.047
- Armour J.A., Murphy D.A., Yuan B.X., Macdonald S., Hopkins D.A. Gross and microscopic anatomy of the human intrinsic cardiac nervous system. *Anat. Rec.* 1997; 247 (2): 289–98.
- Pauza D.H., Skripka V., Pauziene N., Stropus R. Morphology, distribution, and variability of the epicardial neural ganglionated subplexuses in the human heart. *Anat. Rec.* 2000; 259 (4): 353–82.

6. Hoover D.B., Isaacs E.R., Jacques F., Hoard J.L., Pagé P., Armour J.A. Localization of multiple neurotransmitters in surgically derived specimens of human atrial ganglia. *Neuroscience*. 2009; 164 (3): 1170–9. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2009.09.001
7. Katritsis D.G., Pokushalov E., Romanov A., Giazitzoglou E., Siontis G.C., Po S.S. et al. Autonomic denervation added to pulmonary vein isolation for paroxysmal atrial fibrillation: a randomized clinical trial. *J. Am. Coll. Cardiol.* 2013; 62 (24): 2318–25. DOI: 10.1016/j.jacc.2013.06.053
8. Стрельников А.Г., Лосик Д.В., Сергеевичев Д.С., Зыков И.С., Абашкин С.А., Романов А.Б. и др. Нейротоксическая денервация автономной нервной системы левого предсердия в целях лечения и профилактики фибрилляции предсердий: экспериментальное исследование. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2015; 19 (3): 94–9. [Strelnikov A.G., Losik D.V., Sergeevichev D.S., Zykov I.S., Abashkin S.A., Romanov A.B. et al. Neurotoxic denervation of the left atrium for atrial fibrillation treatment and prevention: an experimental animal study. *Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2015; 19 (3): 94–9 (in Russ.).]
9. Po S.S., Nakagawa H., Jackman W.M. Localization of left atrial ganglionated plexi in patients with atrial fibrillation. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2009; 20 (10): 1186–9. DOI: 10.1111/j.1540-8167.2009.01515.x
10. Calkins H., Hindricks G., Cappato R., Kim Y.H., Saad E.B., Aguinaga L. et al. 2017 HRS/EHRA/ECAS/APHR/SOLAECE expert consensus statement on catheter and surgical ablation of atrial fibrillation. *Europace*. 2017; 20 (1): e1–160. DOI: 10.1093/europace/eux274
11. Wieland D.M., Brown L.E., Rogers W.L., Worthington K.C., Wu J.L., Clinthorne N.H. et al. Myocardial imaging with a radioiodinated norepinephrine storage analog. *J. Nucl. Med.* 1981; 22 (1): 22–31.
12. Akutsu Y., Kaneko K., Kodama Y., Li H.L., Suyama J., Shinozuka A. et al. Significance of cardiac sympathetic nervous system abnormality for predicting vascular events in patients with idiopathic paroxysmal atrial fibrillation. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*. 2010; 37 (4): 742–9. DOI: 10.1007/s00259-009-1322-7
13. Akutsu Y., Kaneko K., Kodama Y., Li H.L., Suyama J., Shinozuka A. et al. Iodine-123 mIBG imaging for predicting the development of atrial fibrillation. *JACC Cardiovasc. Imaging*. 2011; 4 (1): 78–86. DOI: 10.1016/j.jcmg.2010.10.005
14. Arimoto T., Tada H., Igarashi M., Sekiguchi Y., Sato A., Koyama T. et al. High washout rate of iodine-123-metaiodobenzylguanidine imaging predicts the outcome of catheter ablation of atrial fibrillation. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2011; 22 (12): 1297–304. DOI: 10.1111/j.1540-8167.2011.02123.x
15. Wenning C., Lange P.S., Schulke C., Vrachimis A., Monnig G., Schober O. et al. Pulmonary vein isolation in patients with paroxysmal atrial fibrillation is associated with regional cardiac sympathetic denervation. *EJNMMI Res.* 2013; 3 (1): 81. DOI: 10.1186/2191-219X-3-81
16. Romanov A., Minin S., Breault C., Pokushalov E. Visualization and ablation of the autonomic nervous system corresponding to ganglionated plexi guided by D-SPECT <sup>123</sup>I-mIBG imaging in patient with paroxysmal atrial fibrillation. *Clin. Res. Cardiol.* 2017; 106 (1): 76–8. DOI: 10.1007/s00392-016-1045-2
17. Stirrup J., Gregg S., Baavour R., Roth N., Breault C., Agostini D. et al. Hybrid solid-state SPECT/CT left atrial innervation imaging for identification of left atrial ganglionated plexi: technique and validation in patients with atrial fibrillation. *J. Nucl. Cardiol.* 2019. DOI: 10.1007/s12350-018-01535-5
18. Gambhir S.S., Berman D.S., Ziffer J., Nagler M., Sandler M., Patton J. et al. A novel high-sensitivity rapid-acquisition single-photon cardiac imaging camera. *J. Nucl. Med.* 2009; 50 (4): 635–43. DOI: 10.2967/jnumed.108.060020

## Сведения об авторах | Information about the authors

**Никитин Никита Александрович\***, мл. науч. сотр., врач-рентгенолог, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. академика Е.Н. Мешалкина» Минздрава России; orcid.org/0000-0001-5463-9109  
E-mail: n\_nikitin@outlook.com

**Минин Станислав Михайлович**, канд. мед. наук, руководитель группы томографии и ядерной медицины Центра новых технологий, заведующий отделением радиоизотопной диагностики, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. академика Е.Н. Мешалкина» Минздрава России; orcid.org/0000-0001-6626-6408

**Шабанов Виталий Викторович**, канд. мед. наук, заведующий кардиохирургическим отделением нарушений ритма сердца, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. академика Е.Н. Мешалкина» Минздрава России; orcid.org/0000-0001-9066-3237

**Лосик Денис Владимирович**, канд. мед. наук, врач-кардиолог, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. академика Е.Н. Мешалкина» Минздрава России; orcid.org/0000-0003-4886-9648

**Романов Александр Борисович**, доктор мед. наук, врач – сердечно-сосудистый хирург, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. академика Е.Н. Мешалкина» Минздрава России; orcid.org/0000-0002-6958-6690

**Nikita A. Nikitin\***, Junior Researcher, Radiologist, Meshalkin National Medical Research Center, Ministry of Health of the Russian Federation; orcid.org/0000-0001-5463-9109  
E-mail: n\_nikitin@outlook.com

**Stanislav M. Minin**, Cand. Med. Sc., Head of the Tomography and Nuclear Medicine Group of Center for New Technologies, Head of Radioisotope Diagnosis Department, Meshalkin National Medical Research Center, Ministry of Health of the Russian Federation; orcid.org/0000-0001-6626-6408

**Vitaliy V. Shabanov**, Cand. Med. Sc., Head of Cardiac Surgery Department of Cardiac Arrhythmias, Meshalkin National Medical Research Center, Ministry of Health of the Russian Federation; orcid.org/0000-0001-9066-3237

**Denis V. Losik**, Cand. Med. Sc., Cardiologist, Meshalkin National Medical Research Center, Ministry of Health of the Russian Federation; orcid.org/0000-0003-4886-9648

**Aleksandr B. Romanov**, Dr. Med. Sc., Cardiac Surgeon, Meshalkin National Medical Research Center, Ministry of Health of the Russian Federation; orcid.org/0000-0002-6958-6690