



<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-38-4-14-19>
УДК 616.12-089.819.843:615.84

Имплантация электрода для постоянной электрокардиостимуляции в проводящую систему сердца: методики интраоперационной визуализации

М.С. Медведь

Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова Министерства здравоохранения Российской Федерации,
197341, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, 2

Аннотация

Стимуляция проводящей системы сердца (ПСС) – перспективный метод электрокардиостимуляции (ЭКС). В тематическом обзоре освещены вопросы современных дополнительных методик интраоперационной визуализации, их преимущества и ограничения. Наличие дополнительных интраоперационных визуализирующих методик в сложных ситуациях и на этапе обучения является серьезным подспорьем. Их применение позволяет уменьшить количество ложносепталных имплантаций, осложнений, лучевую нагрузку на оператора.

Ключевые слова:	проводящая система сердца, имплантация электрода, интраоперационная визуализация.
Конфликт интересов:	авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Прозрачность финансовой деятельности:	работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Министерства здравоохранения Российской Федерации: ЕГИСУ НИОКТР 121031100306-6.
Для цитирования:	Медведь М.С. Имплантация электрода для постоянной электрокардиостимуляции в проводящую систему сердца: методики интраоперационной визуализации. <i>Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины</i> . 2023;38(4):14–19. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-38-4-14-19 .

The lead implantation into the cardiac conduction system for permanent cardiac pacing: intraoperative visualization techniques

Mikhail S. Medved

Almazov National Medical Research Centre,
197341, 2 Akkuratova str., St. Petersburg, Russian Federation

Abstract

The cardiac conduction system pacing is a promising method of cardiac pacing. The thematic review highlights the issues of modern additional methods of intraoperative visualization, their advantages and limitations. The availability of additional intraoperative visualization techniques in complex situations and during the training phase is of great help. Their use makes it possible to reduce the number of false septal implantations, complications, and radiation exposure to the operator.

Keywords:	cardiac conduction system, lead implantation, intraoperative visualization technique.
Conflict of interest:	the authors do not declare a conflict of interest.
Financial disclosure:	the study was supported by the state task of the Ministry of Health of the Russian Federation: Unified state information accounting system of research, development and technological work for civil purposes 21031100306-6.
For citation:	Medved M.S. The lead implantation into the cardiac conduction system for permanent cardiac pacing: intraoperative visualization techniques. <i>The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine</i> . 2023;38(4):14–19. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-38-4-14-19 .

Медведь Михаил Сергеевич, e-mail: medved_michail@mail.ru.

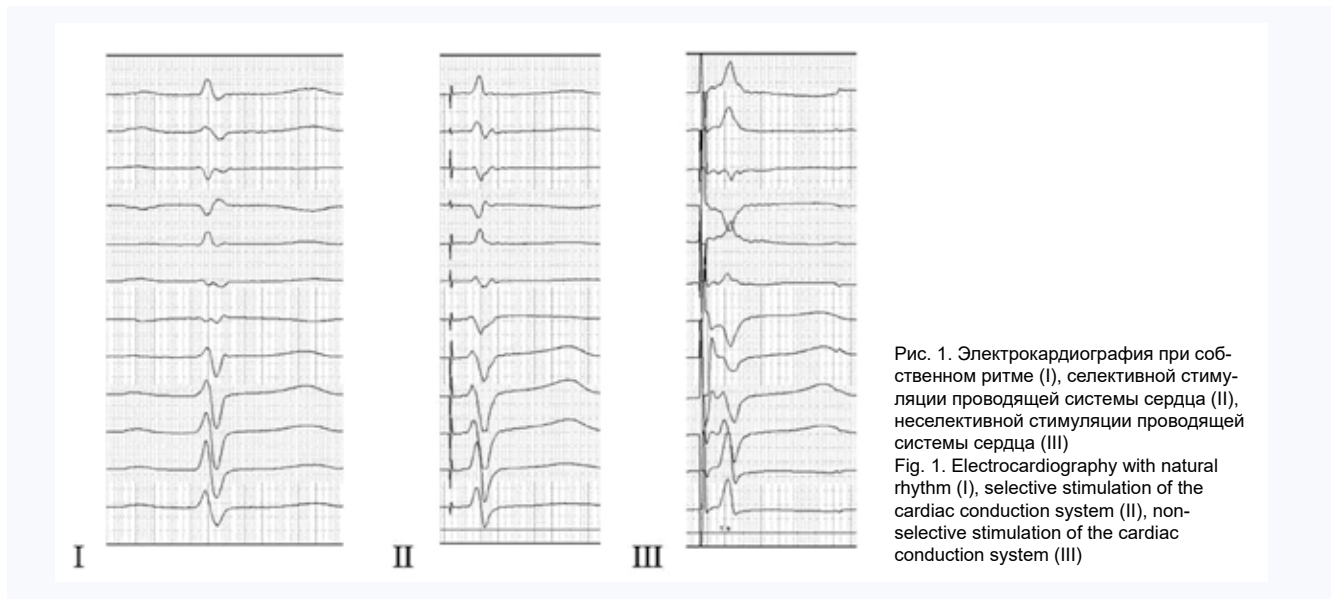
Введение

В последние годы активно развивается методика стимуляции проводящей системы сердца (ПСС) в качестве постоянной электрокардиостимуляции (ЭКС) с активацией желудочков сердца посредством собственной проводящей системы. При данном виде стимуляции необходимо имплантировать электрод в толщу межжелудочковой перегородки (МЖП), где локализована ПСС. Последние исследования доказали, что наиболее перспективная область для имплантации – левая ножка пучка Гиса. [1]

Несмотря на все преимущества методики, на данный момент существует проблема интраоперационной визуализации. Дело в том, что имплантация электрода проходит под электрофизиологическим и флюороскопическим контролем [2]. Исходно систему доставки с электродом позиционируют в проекции МЖП под флюороскопиче-

ским контролем. Позиционирование, как правило, осуществляется в прямой (AP 0) и левой косой (LAO 30) проекциях относительно тени сердца, т. к. на флюороскопическом изображении (суммационное изображение) перегородка не визуализируется.

Далее под электрофизиологическим контролем добиваются получения с имплантируемого электрода специфичной для ПСС эндограммы и приступают к внедрению электрода в МЖП. По мере продвижения электрода увеличивается импеданс. При приближении к эндокарду левого желудочка (ЛЖ) импеданс начинает уменьшаться. В случае получения при тестовой стимуляции узкого комплекса, характерного для стимуляции ПСС, продвижение электрода прекращают, удаляют систему доставки, фиксируют электрод и переходят к следующим этапам операции (рис. 1.) [2, 3].



Необходимо отметить, несмотря на созданные системы доставки, число осложнений, таких как перфорация МЖП, ложносептальные имплантации, гемоперикард, остается весьма высоким. Успех имплантации электрода в ПСС не превышает 92% [2].

Цель: систематизация данных о современных методиках интраоперационной визуализации, используемых при имплантации электрода в ПСС, с оценкой положительных и отрицательных сторон каждой из них.

Интраоперационная визуализация при имплантации электрода в ПСС

Имплантация электрода в ПСС – сложный процесс, требующий определенного опыта от оператора. Разные авторы придерживаются мнения, что период обучения составляет от 40 до 100 имплантаций. Ситуацию усугубляет отсутствие визуализации МЖП. Наличие дополнительных визуализационных методик позволяет определить локализацию и особенности строения МЖП, что особенно важно для начинающего оператора.

Дополнительные визуализирующие методики, которые используют операторы при имплантации электродов в ПСС, можно разделить на ультразвуковые методы, системы навигационного картирования, merge-методики.

Ультразвуковые методы дополнительной интраоперационной визуализации

Как правило, при имплантации электрода в ПСС для уточнения локализации электрода большинство операторов использует трансторакальную эхокардиографию (ЭхоКГ) или транспищеводную (чреспищеводную) эхокардиографию (ЧПЭхоКГ). ЭхоКГ позволяет визуализировать МЖП практически на всем своем протяжении (рис. 2). Однако ЭхоКГ – это субъективный метод визуализации, требующий наличия как высококвалифицированного специалиста, так и соответствующего ультразвукового оборудования. Также доступны при ЭхоКГ находятся в непосредственной близости от операционной раны, что создает риск нарушения асептики [4].

ЧПЭхоКГ обладает большей разрешающей способностью, позволяет лучше визуализировать структуры МЖП. Однако рутинное использование ЧПЭхоКГ сопряжено с определенными трудностями, такими как дискомфорт для пациента, требующий седации, риск повреждения пищевода [4].

Исследований, посвященных применению ЭхоКГ / ЧПЭхоКГ и изучению их эффективности при имплантации электрода в ПСС, не описано. В большинстве

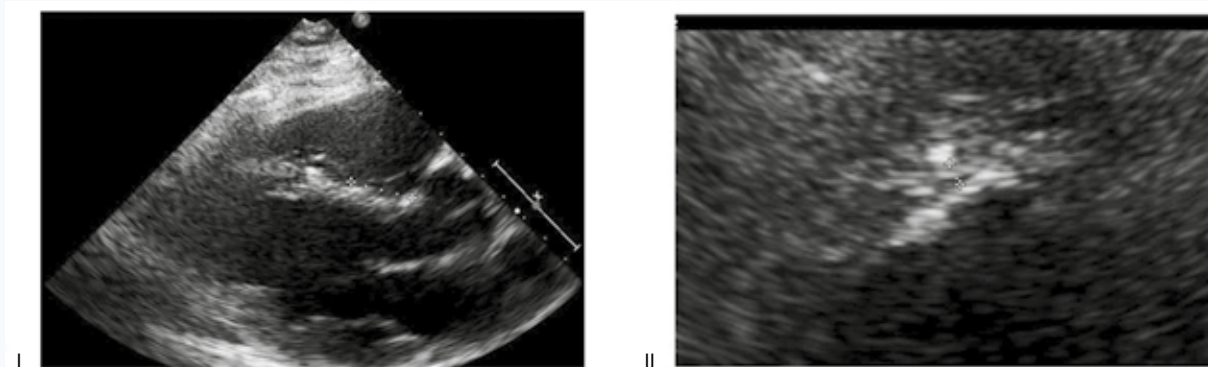


Рис. 2. Эхокардиография. I – маркерами обозначены кольцо трикуспидального клапана и электрод, имплантированный в область локализации проводящей системы сердца, II – маркерами обозначен дистальный конец электрода и эндокард левого желудочка
Fig. 2. Echocardiography. I – markers indicate the ring of the tricuspid valve and the electrode implanted in the area of localization of the conduction system of the heart, II – markers indicate the distal end of the electrode and the endocardium of the left ventricle

своим ультразвуковые методы исследования используют в послеоперационном периоде для оценки позиции электрода. Известны доклады, указывающие на прямое использование данных методик дополнительной интраоперационной визуализации при возникновении затруднений в определении позиции электрода.

Нефлюороскопические системы навигационного картирования

Нефлюороскопические системы навигационного картирования (НСНК) по принципу построения трехмерных карт могут быть магнитными, импедансными и комбинированными. В основе действия магнитных карт лежит анализ положения магнитного датчика (метки) в электроде по отношению к патчам и магнитной рамке, в основе импедансных НСНК – анализ изменения импеданса между электродами в зависимости от изменения их взаимного расположения. Гибридные системы могут использоваться при построении карт как одновременно оба принципа, так и каждый по отдельности.

Преимущество данных методик заключается в полной автономности. С помощью НСНК можно построить анатомическую, активационные карты с возможностью непосредственного картирования ПСС, в том числе выполнить процедуру имплантации без использования ангиографа.

Однако с помощью электрода для постоянной ЭКС построить карту имеют возможность лишь импедансные либо гибридные НСНК, поскольку электрод не имеет магнитного датчика (метки). Кроме того, с помощью электрода для постоянной ЭКС возможно построение лишь карты правого желудочка (ПЖ) и, соответственно, правожелудочковой поверхности МЖП (см. рис. 3). Конфигурация электрода (длина, жесткость) не позволяет выполнить построение карты ЛЖ. Визуализации лишь правожелудочковой поверхности МЖП недостаточно, поскольку у оператора нет ориентира для прекращения внедрения электрода в МЖП.

Для визуализации левожелудочковой поверхности МЖП необходимо использование дополнительного электрода и создание артериального доступа. Создание артериального доступа сопряжено с риском осложнений, таких как гематома, формирование ложных аневризм.

Использование дополнительного электрода сопряжено с дополнительными экономическими затратами. Операторы, использующие НСНК в своей практике, отмечают увеличение продолжительности операции, ее удорожание за счет использования дополнительного картирующего электрода, без увеличения успешности имплантации [5].

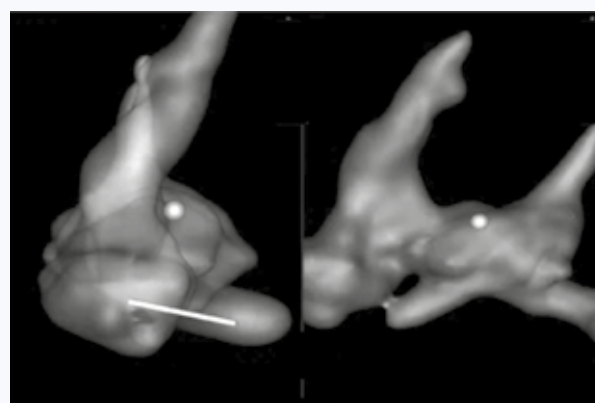


Рис. 3. Навигационное картирование при имплантации электрода в проводящую систему сердца с использованием нефлюороскопической системы навигационного картирования. Сферой обозначена область локализации проводящей системы сердца – целевая область для имплантации [6]
Fig. 3. Navigation mapping during lead implantation into the cardiac conduction system using mapping systems. The sphere indicates the area of the cardiac conduction system localization – the target area for implantation [6]

Merge-технологии визуализации

Merge-системы визуализации основаны на интеграции сторонних объемных изображений в визуализирующую систему, используемую во время оперативного вмешательства. На данный момент возможность интеграции сторонних объемных изображений имеет НСНК и ангиографический комплекс. Обязательным этапом merge-методик является процедура совмещения стороннего объемного изображения с объемным изображением пациента, находящегося на операционном столе. По своей сути процедура совмещения объемов – это не что

иное, как ориентирование стороннего объемного изображения относительно тела пациента.

Главным условием применения merge-технологий при имплантации электрода в ПСС является контрастирование полостей (камер) сердца, поскольку имплантация осуществляется в МЖП. Без контрастирования МЖП не будет визуализирована.

Merge-технологии: возможности нефлюороскопических систем навигационного картирования

Интеграция сторонних объемных изображений возможна в НСНК посредством специализированного программного модуля. Стороннее объемное изображение, как правило, в формате dicom, загружают в систему НСНК. Далее необходимо произвести процедуру совмещения объемов. Для ее выполнения необходимо построение трехмерной карты референтного объема. Это может быть камера сердца, крупный сосуд и т. д. Далее необходимо совместить трехмерную карту построенного анатомического образования с объемным изображением этого анатомического образования на сторонних импортируемых данных. Процедура совмещения объемов может быть выполнена как в автоматическом, так и в ручном режимах, с возможностью коррекции в течение оперативного вмешательства.

После выполнения процедуры совмещения при необходимости возможно выполнить коррекцию объемного изображения: убрать затрудняющие визуализацию анатомические образования (ребра, позвоночный столб, легкие), выполнить сегментацию сердца, определить и выделить целевую для имплантации область.

Применение merge-методик на основе НСНК, в отличие от изолированного применения НСНК, позволяет выполнить быстрое построение объемного изображения, в том числе левых камер с возможностью визуализации левожелудочкового края МЖП без использования дополнительных электродов и артериального доступа, картирование ПСС, тем самым имплантировать электрод прецизионно, с высокой вероятностью успеха осуществления стимуляции ПСС. Кроме того и электрод и построенная карта являются трехмерными моделями, которые можно вращать для удобства визуализации. Также модель синхронизирована с дыхательными движениями, что уменьшает погрешность данной визуализационной методики.

Исследования, посвященные оценке эффективности merge-методик на основе НСНК при имплантации электродов в ПСС, не проводились.

Merge-технологии: возможности ангиографических комплексов

Интеграция сторонних объемных изображений в ангиографический комплекс возможна при наличии 3D-модуля ангиографического комплекса. У большинства производителей ангиографических комплексов данный модуль входит в состав базового комплекта поставки аппарата. Стороннее объемное изображение, как правило, в формате dicom, загружают в систему ангиографического комплекса. Далее необходимо провести процедуру совмещения объемов. Процедура заключается в совмещении стороннего объемного изображения и объемного изображения, полученного с ангиографа, посредством реконструкции так называемого псевдо-КТ изображения из данных ротационной ангиографии. Процесс совмещения может быть выполнен как в автоматическом, так и

в ручном режимах, с возможностью коррекции в любой момент вмешательства. Совмещение осуществляют по реперным точкам. Функцию реперных точек могут выполнять как отдельные анатомические образования (ребра, позвоночный столб и т. д.), так и вновь созданные точки на поверхности тела пациента (пластырь с контрастным включением).

Погрешность методики во многом определяется процедурой совмещения объемов. В авторском «Способе интраоперационной визуализации и контроля позиции электрода при имплантации электродов в ПСС» № RU 2792025 предложена методика «центрации пациента», позволяющая стандартизировать положение пациента во время выполнения компьютерной томографии (КТ) и во время имплантации электрода, что положительным образом влияет на уменьшение погрешности merge-методики. Согласно методике, при выполнении КТ и при процедуре имплантации положение тела пациента относительно манипуляционного и, соответственно, операционного столов «центрируют» на 3 уровнях: уровне головы, уровне плечевого пояса и уровне таза. Также осуществляют подбор высоты подголовных валиков.

Существуют гибридные ангиографические комплексы, имеющие в своем составе компьютерный томограф. При выполнении КТ непосредственно перед процедурой имплантации без изменения положения тела пациента процедура совмещения объема не требуется.

Итоговая визуализация несколько отличается от таковой при работе с НСНК. В НСНК есть возможность вращать трехмерную карту вместе с электродом, который является частью 3D-модели. В отличие от НСНК ангиографический комплекс визуализирует проекцию реконструированной модели сердца на фоне флюороскопического изображения в соответствии с углами наклона ангиографа в каждый момент времени. В данной системе визуализируется тень электрода на фоне проекции 3D-модели сердца (рис. 4). Модель и тень электрода не являются единым целым (см. рис. 4). Отсюда возникает ряд особенностей.

При позиционировании системы доставки с электродом относительно МПЖ ПЖ существенно затрудняет визуализацию проекции левожелудочковой поверхности МЖП. В зависимости от версии программного обеспечения ангиографического комплекса в распоряжении оператора может быть специализированный модуль сегментации. При наличии специализированного модуля возможна сегментация сердца на отдельные камеры, визуализация которых вариабельна в зависимости от потребностей оператора. В случае затруднения визуализации возможно «убрать» визуализацию какой-либо камеры.

В случае отсутствия специализированного модуля сегментации возможно использовать «Способ интраоперационной визуализации и контроля позиции электрода при имплантации электродов в ПСС» № RU 2792025. Данный способ позволяет построить частично сегментированную модель сердца на ангиографических комплексах, не имеющих специализированных модулей сегментации, благодаря выполнению предоперационного КТ со специфическим контрастированием полостей сердца. Необходимый уровень контрастирования представлен в описании. Кроме того, в данной методике подробно описаны пути уменьшения погрешности при процедуре совмещения, а также способ финального контроля позиции электрода (рис. 5) [7–9].

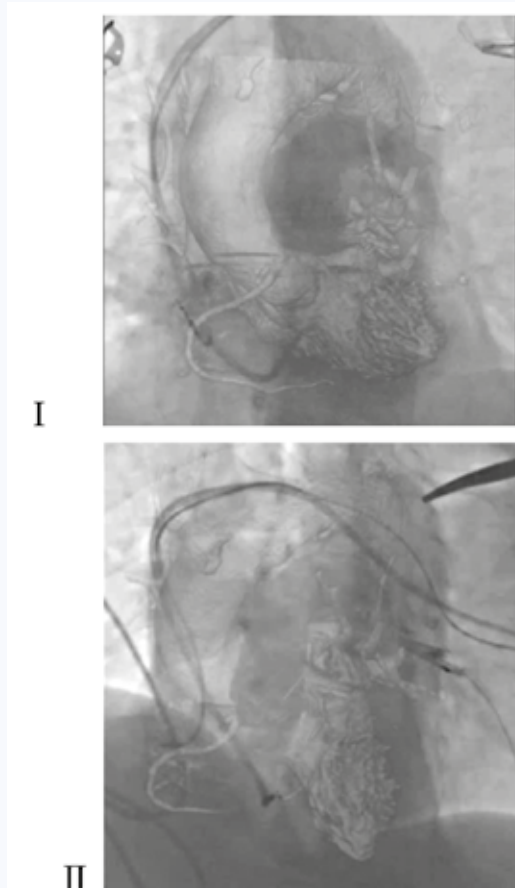


Рис. 4. Трехмерная модель сердца на фоне флюороскопии в прямой (AP, I) и левой косой (LAO, II) проекциях, визуализация правых камер сердца отключена
Fig. 4. 3D-model of the heart against the background of fluoroscopy in the direct (AP, I) and left oblique (LAO, II) projections; visualization of the right chambers of the heart is disabled

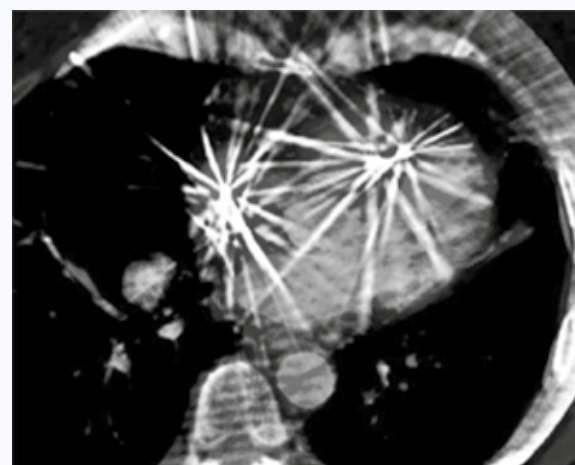


Рис. 5. Финальный контроль позиции электрода
Fig. 5. The final control of lead position

Применение вышеописанного способа позволяет снизить количество нецелевых имплантаций, уменьшить лучевую нагрузку на оператора, не увеличивая продолжительности операции [7].

Выводы

Имплантация электрода в ПСС – сложный и трудоемкий процесс, требующий от оператора определенных навыков и опыта. Наличие дополнительных интраоперационных визуализирующих методик в сложных ситуациях и на этапе обучения является серьезным подспорьем. Каждая из методик имеет свои возможности и ограничения. Несмотря на плюсы какой-либо методики визуализации, ее выбор обусловлен оснащенностью каждой конкретной клиники.

Литература / References

1. Deshmukh P., Casavant D.A., Romanyshyn M., Anderson K. Permanent, direct His-bundle pacing: a novel approach to cardiac pacing in patients with normal His-Purkinje activation. *Circulation*. 2000;101(8):869–877. DOI: 10.1161/01.cir.101.8.869.
2. Zanon F., Ellenbogen K.A., Dandamudi G., Sharma P.S., Huang W., Lustgarten D.L. et al. Permanent His-bundle pacing: a systematic literature review and meta-analysis. *Europace*. 2018;20(11):1819–1826. DOI: 10.1093/europace/euy058.
3. Горев М.В., Нардая Ш.Г., Петелько С.В., Рачкова Ю.И., Макарычева О.В., Гайдукова Н.А. и др. Имплантация электрода для постоянной стимуляции проводящей системы сердца: залог успеха – в доставляющем интродьюсере. *Вестник аритмологии*. 2023;30(1):19–24. Gorev M.V., Nardaia Sh.G., Petelko S.V., Rachkova Ju.I., Makarycheva O.V., Gaidukova N.A. et al. Cardiac conduction system pacing lead implantation: delivery tool is the clue to success. *Journal of Arrhythmology*. 2023;30(1):19–24. (In Russ.). DOI: 10/35336/VA-2023-1-03.
4. Богачевский А.Н., Богачевская С.А., Бондарь В.Ю. Имплантация постоянных кардиостимуляторов под ультразвуковым контролем. *Вестник аритмологии*. 2014;(78):42–46. Bogachevsky A.N., Bogachevskaya S.A., Bondar V.Yu. Ultrasound-guided permanent pacemaker implantation. *Journal of Arrhythmology*. 2014;(78):42–46. (In Russ.). URL: <https://vestar.elpub.ru/jour/article/view/710/640> (13.11.2023).
5. Горев М.В., Нардая Ш.Г., Петелько С.В., Рачкова Ю.И., Макарычева О.В., Гайдукова Н.А. и др. Описание техники процедуры и редкого интраоперационного осложнения при постоянной стимуляции пучка Гиса. *Вестник аритмологии*. 2020;27(4):46–51.
6. Gorev M.V., Nardaya S.G., Petelko S.V., Rachkova Ju.I., Makarycheva O.V., Gaidukova N.A. et al. Procedure technique and rare intraprocedural complication during permanent His bundle pacing. *J. Arrhythmology*. 2021;27(4):46–51. (In Russ.). DOI: 10.35336/VA-2020-4-46-51.
7. Калемберг А.А. Новое видение привычных вещей. Современное импедансное картирование с использованием системы АСТРОКАРД® (устный доклад). V Инновационный Петербургский медицинский форум, 18–21 мая 2022 г., Санкт-Петербург. Kalemberg A.A. New Vision of Familiar Things. Modern impedance mapping using ASTROCARD® (oral report). V Innovation Petersburg Medical Forum, 18–21 May 2022, Saint Petersburg.
8. Медведь М.С., Лебедев Д.С., Труфанов Г.Е., Рудь С.Д., Карпова Д.В., Подшивалова Е.П. Способ интраоперационной визуализации и контроля позиции электрода при имплантации электрода в проводящую систему сердца (патент на изобретение). Патент № 2792025 C1 РФ. МПК А61В 6/00. Дата регистрации: 15.03.2023. Medved M.S., Lebedev D.S., Trufanov G.E., Rud S.D., Karpova D.V., Podshivalova E.P. Sposob-intraoperacionnoj-vizualizacii-i-kontrolya-pozicii-ehlektroda-pri-implantacii-ehlektroda-v-provodyashchuyu-sistemu-serdca-patent-na-izobretenie. Patent 2792025 C1 RUS. MPK A61V 6/00. Date of registration: 15.03.2023. (In Russ.).
9. Медведь М.С., Рудь С.Д., Труфанов Г.Е., Карпова Д.В., Подшивалова Е.П., Лебедев Д.С. Возможности merge-методики интраоперационной визуализации при имплантации электрода для постоянной кардиостимуляции в проводящую систему сердца: промежуточные результаты исследования. *Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины*. 2023;39(3):128–134. Medved M.S., Rud S.D., Trufanov G.E., Karpova D.V., Podshivalova E.P., Lebedev D.S. Possibilities of the merge technique for intraoperative

imaging in a lead implantation into the cardiac conduction system for permanent cardiac pacing: interim results of the study. *Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2023;39(3):128–134. (In Russ.). DOI: 10.29001/2073-8552-2023-39-3-128-134.

9. Медведь М.С., Рудь С.Д., Труфанов Г.Е., Лебедев Д.С. Методика интраоперационной визуализации при имплантации электрода в проводящую систему сердца: аспекты компьютерной томографии:

ретроспективное исследование. *Лучевая диагностика и терапия*. 2023;14(3):46–52.

Medved M.S., Rud S.D., Trufanov G.E., Lebedev D.S. The intraoperative visualisation technique during lead implantation into the cardiac conductive system: aspects of computed tomography: prospective study. *Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2023;14(3):46–52. (In Russ.). DOI: 10.22328/2079-5343-2023-14-3-46-52.

Сведения об авторе

Медведь Михаил Сергеевич, младший научный сотрудник, научно-исследовательская лаборатория нейромодуляции, научно-исследовательский отдел аритмологии, Институт сердца и сосудов, Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова Министерства здравоохранения Российской Федерации. ORCID 0000-0002-2825-899X.

E-mail: medved_michail@mail.ru.

 **Медведь Михаил Сергеевич**, e-mail: medved_michail@mail.ru.

Поступила 10.10.2023

Information about the author

Mikhail S. Medved, Junior Research Scientist, Neuromodulation Research Laboratory, Arrhythmology Research Department, Institute of Heart and Vessels, Almazov National Medical Research Centre. ORCID 0000-0002-2825-899X.

E-mail: medved_michail@mail.ru.

 **Mikhail S. Medved**, e-mail: medved_michail@mail.ru.

Received October 10, 2023