

Роботизированная магнитная навигация при лечении сложных нарушений ритма сердца у пациентов после хирургической коррекции врожденных пороков сердца

Для корреспонденции:

Владимир Викторович Белобородов,
beloborodov.vladimir@gmail.com

Поступила в редакцию 28 сентября 2020 г. Исправлена 25 декабря 2020 г. Принята к печати 30 декабря 2020 г.

Цитировать:

Белобородов В.В., Елемесов Н.А., Пономаренко А.В., Моржанаев Е.А., Филиппенко А.Г., Михеенко И.Л., Чернявский А.М., Романов А.Б. Роботизированная магнитная навигация при лечении сложных нарушений ритма сердца у пациентов после хирургической коррекции врожденных пороков сердца. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2021;25(1):32-39. <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2021-1-32-39>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Исследование является частью проекта, выполняемого при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МД-1997.2020.7.

Вклад авторов

Концепция и дизайн работы: А.Б. Романов, А.М. Чернявский
Написание статьи: В.В. Белобородов, А.В. Пономаренко, Е.А. Моржанаев
Редактирование статьи: А.Б. Романов, А.В. Пономаренко, И.Л. Михеенко, Е.А. Моржанаев, А.Г. Филиппенко, А.М. Чернявский
Утверждение окончательной версии: все авторы

ORCID ID

В.В. Белобородов, <https://orcid.org/0000-0003-1568-9472>
Н.А. Елемесов, <https://orcid.org/0000-0001-6316-7375>
А.В. Пономаренко, <https://orcid.org/0000-0002-5468-9961>
Е.А. Моржанаев, <https://orcid.org/0000-0003-4643-8852>
А.Г. Филиппенко, <https://orcid.org/0000-0001-8068-7276>
И.Л. Михеенко, <https://orcid.org/0000-0002-3552-7158>
А.М. Чернявский, <https://orcid.org/0000-0001-9818-8678>
А.Б. Романов, <https://orcid.org/0000-0002-6958-6690>

© В.В. Белобородов, Н.А. Елемесов, А.В. Пономаренко, Е.А. Моржанаев, А.Г. Филиппенко, И.Л. Михеенко, А.М. Чернявский, А.Б. Романов, 2021
Статья открытого доступа, распространяется по лицензии Creative Commons Attribution 4.0.

В.В. Белобородов, Н.А. Елемесов, А.В. Пономаренко, Е.А. Моржанаев, А.Г. Филиппенко, И.Л. Михеенко, А.М. Чернявский, А.Б. Романов

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр им. ак. Е.Н. Мешалкина» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Новосибирск, Российская Федерация

Врожденные пороки сердца составляют треть от всех аномалий развития. Согласно научным данным, распространенность врожденных пороков сердца, требующих хирургической коррекции, — 9 человек на 1 тыс. новорожденных. В ряде случаев после операции по поводу врожденного порока сердца у пациентов развиваются сложные нарушения ритма, такие как эктопические и реентри предсердные тахикардии, которые недостаточно поддаются медикаментозному лечению и носят персистирующий характер. Катетерная абляция показала эффективность и безопасность в лечении таких нарушений ритма сердца, как инцизионное трепетание предсердий, эктопические и реентри пароксизмальные предсердные тахикардии, в том числе у пациентов педиатрической группы. Несмотря на это, остается ряд проблем и трудностей, связанных с применением данного подхода. Пациенты после хирургической коррекции врожденного порока сердца имеют измененную анатомию сердца, искусственные клапаны и заплаты, а также рубцовые изменения в области хирургических доступов. Данные особенности затрудняют доступ к аритмогенным очагам, и, как следствие, снижается эффективность радиочастотной абляции традиционным способом. Применение роботизированной магнитной навигации позволяет достигать максимальной точности локализации очага аритмии и может улучшить результаты лечения нарушений ритма у пациентов со сложной анатомией.

Цель данного обзора — анализ современных данных литературы и собственного начального опыта применения роботизированной магнитной навигации при лечении сложных нарушений ритма у пациентов после коррекции врожденных пороков сердца.

Для поиска и отбора литературных источников использовались базы данных Scopus, Web of Science, а также англоязычная биомедицинская база данных PubMed. Результаты демонстрируют, что применение роботизированной магнитной навигации для интервенционного лечения нарушений ритма сердца является безопасным и высокоэффективным методом лечения пациентов с врожденными пороками и нарушениями ритма сердца.

Ключевые слова: врожденный порок сердца; катетерная абляция; нарушение ритма сердца; роботизированная магнитная навигация

Актуальность

Врожденные пороки сердца (ВПС) составляют треть от всех врожденных аномалий развития. Согласно данным метаанализа, в мировой популяции из 1 тыс. новорожденных каждый девятый рождается с ВПС. В Европе и Азии этот показатель составляет 6,9 и 9,3 на 1 тыс. новорожденных соответственно [1]. Такие различия в распространенности могут быть связаны с поздним выявлением, так как сложные пороки обнаруживаются в пренатальном и неонатальном периодах, а незначительные дефекты могут быть обнаружены случайно в зрелом возрасте.

Усовершенствование хирургических методов коррекции, развитие интервенционных методов диагностики и лечения позволили увеличить продолжительность и улучшить прогноз и качество жизни пациентов с ВПС [2]. Несмотря на это, остается ряд проблем, которые представляют трудности при комплексном подходе к лечению данной категории пациентов. Одна из таких проблем в раннем и отдаленном послеоперационных периодах — высокая частота нарушений ритма сердца (НРС). Сложные ВПС, такие как транспозиция магистральных сосудов, тетрада Фалло, аномальный дренаж легочных вен, аномалия Эбштейна, а также дефекты межпредсердной и межжелудочковой перегородок, и хирургические подходы к их лечению связаны с более высокой частотой возникновения нарушений ритма, таких как фибрилляция и трепетание предсердий. До 50 % пациентов, перенесших коррекцию тетрады Фалло, и около 30 % пациентов после процедур Сеннинга и Мастарда имеют устойчивые ятрогенные НРС [3; 4]. Неоднородность миокарда и рубцовая ткань, возникающие после хирургических вмешательств, представляют собой сложный аритмогенный субстрат, имеющий зоны замедленной проводимости, приводящий к образованию и функционированию очагов макро- и микрореентри предсердных и желудочковых тахиаритмий [5–7]. Непрерывно рецидивирующие аритмии вызывают прогрессирующее ухудшение гемодинамики. Таким образом, необходимо применение безопасных и эффективных подходов для интервенционного лечения сложных НРС у пациентов с ВПС до или после хирургической коррекции порока.

Методы лечения нарушений ритма сердца у пациентов с врожденными пороками сердца

Для лечения пациентов с НРС после хирургического лечения ВПС следует применять комплексный подход с учетом индивидуальных особенностей и приверженности терапии. Большинство таких пациентов получают лечение антиаритмическими препаратами. Однако, с учетом отсутствия доказательной базы и необходимости длительного приема антиаритмических препаратов, такая стратегия терапии обладает низкой эффективностью и вызывает побочные эффекты. Благодаря прогрессу в области интервенционных методов диагностики и лечения радиочастотная катетерная абляция — высокоэффективная и безопасная альтернатива медикаментозной терапии [8]. Данную технологию применяют для лечения наджелудочковых аритмий у детей с 1990 г. [9]. Тем не менее остается ряд нерешенных вопросов, связанных с применением данной методики для лечения НРС у педиатрической и взрослой групп пациентов после хирургической коррекции врожденных пороков сердца.

Так, в ряде случаев доступ к сердцу ограничен ввиду предыдущего хирургического вмешательства, измененной анатомии, что не позволяет добиться устойчивого положения катетера и трансмуральности повреждения, что в свою очередь приводит к снижению эффективности лечения. Кроме того, искусственные клапаны сердца, опорные кольца, чрескожные окклюзирующие устройства также могут ограничивать доступ к камерам сердца и препятствовать адекватному воздействию на субстрат аритмии [10; 11]. Во время интервенционных вмешательств при стандартном мануальном подходе в большинстве случаев требуется длительное использование флюороскопии для минимизации риска осложнений во время вмешательства. Для решения этих проблем и выполнения эффективного и безопасного воздействия у пациентов с НРС разработан и успешно применяется роботизированная магнитная навигация (РМН) с использованием электроанатомического картирования для создания 3D-моделей камер сердца с интеграцией изображений компьютерной томографии [12].

Рис. 1. Система роботизированной магнитной навигации: вид из операционной (А); вид из пультовой, где хирург осуществляет дистанционное управление катетером во время процедуры аблации (В)
Примечание.
РМН — роботизированная магнитная навигация; АД — артериальное давление.



Роботизированная магнитная навигация

Роботизированная магнитная навигация (Stereotaxis Inc., Сент-Луис, США) состоит из двух постоянных магнитов, расположенных по обе стороны от пациента. Они создают постоянное магнитное поле с напряжением 0,08 или 0,1 Тл. Система 3D-электроанатомического картирования CARTO RMT (Biosense Webster Inc., Даймонд-Бар, США) передает положение и ориентацию кончика катетера в магнитном поле, что также дублируется на монитор навигационной системы Niobe (Stereotaxis Inc., Сент-Луис, США). Эта информация отображается на экране, что позволяет осуществлять непрерывный мониторинг положения катетера в режиме реального времени без применения флюороскопии. Дистанционное управление катетером осуществляется с помощью системы Cardiodrive (Stereotaxis Inc., Сент-Луис, США) [11–15]. Трехмерная интеграция изображений камер сердца, так же как и данные компьютерной томографии, могут быть совме-

нены с двумя флюороскопическими изображениями, записанными в реальном времени для облегчения ориентации катетера относительно трехмерной анатомии в процессе картирования и аблации [13–15]. Главными преимуществами абляционного катетера NAVISTAR THERMOCOOL RMT (Biosense Webster Inc., Даймонд-Бар, США) являются гибкость и маневренность, благодаря которым можно достичь анатомически трудных областей. Постоянное магнитное поле создает условия для стабильного положения катетера в сердце и позволяет добиться трансмуральности повреждения при абляционном воздействии. Кроме того, снижается риск перфорации полостей и сосудов сердца, так же как и время флюороскопии, как для оператора, так и пациента. Управление катетером осуществляется в пультовой, где хирург с помощью специального пульта или компьютерной мыши осуществляет управление и мониторинг за операционным вмешательством (рис. 1).

Применение роботизированной магнитной навигации у пациентов с нарушениями ритма и врожденными пороками сердца

В. Schwagten и соавт. в 2008 г. впервые в мировой практике применили РМН у пациентов с корригированными ВПС. Выборка состояла из 11 пациентов в возрасте от 16 до 61 года (медиана — 32,5 года), перенесших вмешательства по закрытию дефектов межпредсердной и межжелудочковой перегородок, коррекцию тетрады Фалло, дэкстрокардии с аномальным впадением легочных вен, стеноза легочной артерии, транспозиции магистральных артерий, операции Сеннинга, Мастарда и Фонтена. У всех пациентов применялся трансаортальный доступ, кроме 2 пациентов с механическими протезами аортального клапана. После индукции тахикардии с помощью программированной стимуляции построена активационная и вольтажная карта соответствующих камер сердца. У пациентов, перенесших процедуры Фонтена, Сеннинга и Мастарда, выполнено построение биатриальной активационной и вольтажной карты. Виды оперативного вмешательства включали: аблацию кавотрикуспидального перешейка ($n = 2$), фокусных предсердных тахикардий ($n = 5$), инцизионных макрореентри тахикардий ($n = 10$). Серьезных осложнений не выявлено во время оперативного вмешательства. У 1 пациента развилась послеоперационная лихорадка с бактериемией золотистого стафилококка. У всех пациентов в конце операции не удалось индуцировать клинически выявленные тахикардии. У 3 (27,3 %) из 11 пациентов возник рецидив аритмии в периоде наблюдения от 4–6 мес. [17]. Таким образом, первые результаты применения РМН для интервенционного лечения сложных НРС у пациентов, перенесших хирургическое вмешательство по поводу ВПС, продемонстрировали безопасность и эффективность.

В последующем применение РМН у данной категории пациентов получило развитие и совершенствование. Так, J. Wu и соавт. сообщили о применении РМН у 4 пациентов (2 мужчины, 2 женщины в возрасте 23–40 лет) после операций Сеннинга и Мастарда. У всех пациентов авторы применяли трансаортальный доступ. Согласно результатам исследования, применение РМН значительно сокращает время рентгеноскопии у пациентов с корригированными ВПС и предсерд-

ными тахикардиями, особенно после периода кривой обучения. Сохранение синусового ритма наблюдалось у всех пациентов в периоде наблюдения от 9 до 13 мес. [18].

В свою очередь, F. Акса и соавт. представили самый большой опыт использования РМН у 36 пациентов с ВПС (средний возраст 35 ± 19 лет), включая сложные ВПС. Основными ВПС были дефект межпредсердной перегородки, общий атрио-вентрикулярный клапан, двойное отхождение магистральных сосудов от правого желудочка, аномалия Эбштейна, транспозиция магистральных артерий, тетрада Фалло, атрезия трехстворчатого клапана и стеноз легочной артерии. 7 пациентов перенесли процедуру Фонтена, 8 — операцию Мастарда или Сеннинга, 3 — коррекцию тетрады Фалло и 3 — закрытие дефекта межпредсердной перегородки. Всего выполнили 43 аблации с использованием РМН. В 2 случаях не проводили аблацию в связи с окклюдером межпредсердной перегородки и невозможностью выполнения трансептальной пункции через окклюдер в тот период времени. У 3 пациентов потребовался переход к мануальной радиочастотной аблации для успешного лечения фокусной предсердной тахикардии, правопредсердного заднего дополнительного пути проведения и типичного трепетания предсердий. У 31 пациента (86 %) аблация была успешной. У всех 36 пациентов без индукции тахикардии в конце операции отсутствовали серьезные осложнения. У 27 пациентов (75 %) отсутствовали рецидивы тахикардий в отдаленном периоде наблюдения 26 мес. [19].

K. Roy и соавт. выполнили 17 процедур аблации 26 суправентрикулярных тахикардий с использованием РМН у 13 пациентов после операции Сеннинга, Мастарда или Фонтена. В среднем периоде наблюдения более 6 мес. у 12 пациентов (92,3 %) отсутствовали аритмии. Также авторы сообщили об использовании РМН при 94 процедурах аблации у 72 пациентов с ВПС и трудностями сосудистого доступа. В исследовании участвовали пациенты, перенесшие процедуры Фонтена, Сеннинга, Мастарда, коррекцию тетрады Фалло и закрытие дефекта межпредсердной перегородки со сложными анатомическими особенностями. Основными НРС были инцизионные предсердные и фокусные тахикар-

дии. У большинства пациентов использовали трансортальный доступ для картирования и аблации аритмии. Ни у одного из пациентов не выявили жизнеугрожающих осложнений. Отсутствие аритмий в периоде наблюдения 20 мес. составило 79 % [20].

R.W. Roudijk и соавт. сравнили применение РМН и стандартного мануального подхода к аблации НРС у 31 пациента с ВПС в ретроспективном исследовании [21]. Пациентов разделили на две группы. В первой группе (n = 13) выполняли радиочастотную аблацию с использованием мануального подхода, основная когорта состояла преимущественно из пациентов с корригированной аномалией Эбштейна (n = 6, 46 %). Во второй группе (n = 18) проводили аблацию с помощью РМН; участвовали пациенты с корригированной транспозицией магистральных сосудов (n = 5, 28 %), тетрадой Фалло и аномалией Эбштейна (n = 4, 22 %), дефектом межжелудочковой перегородки (n = 2, 11 %), а также с операцией Фонтена (n = 2, 11 %) и хирургической коррекцией ВПС в анамнезе (n = 16, 89 %). Обе группы пациентов имели сопоставимые результаты в раннем послеоперационном периоде и в течение шестимеся-

ного периода наблюдения. Серьезные осложнения, такие как тампонада сердца, гемоперикард и повреждение клапанов сердца, отсутствовали в обеих группах. Применение РМН было связано со значительно меньшим временем флюороскопии, по сравнению с мануальным подходом, а также обладало высокой безопасностью и эффективностью вследствие маневренности и гибкости абляционного катетера и доступности выполнения аблации при сложной анатомии и проблемах сосудистого доступа.

Собственный начальный опыт применения роботизированной магнитной навигации у пациентов с нарушениями ритма и врожденными пороками сердца

В ФГБУ «НМИЦ им. ак. Е.Н. Мешалкина» Минздрава России с апреля по август 2020 г. с использованием РМН прооперировали 5 пациентов после коррекции ВПС с сочетанными НРС. Средний возраст пациентов — 32 [16; 59] года (диапазон 16–60, 2 женщины). Структура ВПС и НРС представлена в *таблице*, клинический пример — на рис. 2. У всех пациентов оперативное вмешательство прошло без осложнений. Время рентгеноскопии составило

Структура врожденных пороков сердца, вмешательств и видов нарушений ритма сердца у пациентов, оперированных с помощью магнитной роботизированной навигации

Показатель	Пациент 1	Пациент 2	Пациент 3	Пациент 4	Пациент 5
ВПС / оперативное вмешательство	ДМПП / транскатетерное закрытие ДМПП окклюдером	Тетрада Фалло в сочетании с аномалией Эбштейна / радикальная коррекция тетрады Фалло; протезирование трикуспидального клапана механическим протезом; репротезирование трикуспидального клапана биологическим протезом	Аномалия Эбштейна; ДМЖП / протезирование трикуспидального клапана механическим протезом; репротезирование трикуспидального клапана биологическим протезом	Двойное отхождение магистральных сосудов от правого желудочка; ДМЖП / радикальная коррекция двойного отхождения магистральных сосудов от правого желудочка; транскатетерное закрытие ДМЖП (реканилизация) окклюдером	Декстрокardia; ДМПП; добавочная верхняя полая вена; трикуспидальная недостаточность / протезирование трикуспидального клапана биологическим протезом; закрытие заплатой ДМПП; репротезирование трикуспидального клапана биологическим протезом
Тип НРС	Пароксизмальная фибрилляция предсердий	Инцизионное трепетание предсердий, длительно персистирующая форма	Инцизионное трепетание предсердий, длительно персистирующая форма	Пароксизмальная желудочковая тахикардия	Инцизионное трепетание предсердий, длительно персистирующая форма
Камера сердца	Левое предсердие	Правое предсердие	Правое предсердие	Правый желудочек	Правое предсердие
Доступ	Трансептальный	Трансфеморальный	Трансфеморальный	Трансфеморальный	Трансфеморальный

Примечание. ВПС — врожденный порок сердца; НРС — нарушение ритма сердца; ДМПП — дефект межпредсердной перегородки; ДМЖП — дефект межжелудочковой перегородки.



Рис. 2. Абляция инцизионного трепетания предсердий с помощью роботизированной магнитной навигации у пациента с декстрокардией, дефектом межпредсердной перегородки, добавочной верхней полой веной, трикуспидальной недостаточностью, расширенным коронарным синусом после выполненных ранее протезирования трикуспидального клапана и закрытия дефекта межпредсердной перегородки. Зоны воздействия: между рубцом по боковой стенке и верхней полой веной, между рубцом по боковой стенке и нижней полой веной и между коронарным синусом и нижней полой веной: окно для рентгеновского изображения (онлайн) (А); окно электрофизиологической системы (онлайн) (В); окно для контроля параметров гемодинамики (онлайн) (С); окно для навигационной системы Niobe с созданием 3D-реконструкции правого предсердия (онлайн, левое верхнее окно), пример стандартной анатомии правого предсердия (левое нижнее окно), два фиксированных рентгеновских изображения правого предсердия с наложением 3D-модели в левой (правое верхнее окно) и правой (правое нижнее окно) косых проекциях (онлайн, движение катетера) (Д); окно навигационной системы CARTO с созданием активационной, вольтажной и анатомической реконструкции правого предсердия, совмещенной с данными компьютерной томографии (онлайн) (Е)

Примечание. РМН — роботизированная магнитная навигация; КС — коронарный синус; ВПВ — верхняя полая вена; НПВ — нижняя полая вена; дВПВ — добавочная верхняя полая вена; Трк — трикуспидальный клапан.

10 [9; 12] мин (диапазон 4–12). В конце процедуры абляции у пациентов не индуцированы тахикардии, зарегистрированные до или во время оперативного вмешательства. Период наблюдения составил 120 [92; 142] дней с отсутствием аритмий по данным 24-часового холтеровского мониторирования электрокардиографии.

Заключение

Пациенты с ВПС после радикального и паллиативного хирургического вмешательства представляют собой группу с особыми индивидуальными характеристиками и сложными видами НРС. Измененная анатомия, сосудистые анастомозы, искусственные клапаны сердца, окклюзирующие устройства

и послеоперационные рубцы ограничивают доступ к очагу аритмии. В мировой практике существует не так много данных о применении роботизированной магнитной навигации для лечения сложных НРС у пациентов, имеющих в анамнезе хирургическую коррекцию ВПС. Согласно представленным результатам, РМН для интервенционного лечения нарушений ритма сердца является безопасным и высокоэффективным методом лечения пациентов с ВПС. Кроме того, РМН обладает такими преимуществами, как эффективное достижение анатомически трудных областей, возможность выполнения абляции при проблемах сосудистого доступа, снижение времени рентгеноскопии, что приводит к безопасному и эффективному оперативному лечению и делает данную технологию

предпочтительной при интервенционном лечении когорты пациентов с НРС и ВПС. Тем не менее требуется накопление большего опыта для применения РМН в качестве технологии первого выбора для лечения пациентов с врожденными пороками и нарушениями ритма сердца.

Список литературы / References

- van der Linde D., Konings E.E., Slager M.A., Witsenburg M., Helbing W.A., Takkenberg J.J., Roos-Hesselink J.W. Birth prevalence of congenital heart disease worldwide: a systematic review and meta-analysis. *J Am Coll Cardiol.* 2011;58(21):2241-2247. PMID: 22078432. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.08.025>
- Szili-Torok T., Kornyei L., Jordaens L.J. Transcatheter ablation of arrhythmias associated with congenital heart disease. *J Interv Card Electrophysiol.* 2008;22(2):161-166. PMID: 18320298, PMCID: PMC2493534. <https://doi.org/10.1007/s10840-007-9198-6>
- Flinn C.J., Wolff G.S., Dick M. 2nd, Campbell R.M., Borkat G., Casta A., Hordof A., Hougren T.J., Kavey R.E., Kugler J., Liebman J., Greenhouse J., Hees P. Cardiac rhythm after the Mustard operation for complete transposition of the great arteries. *N Engl J Med.* 1984;310(25):1635-1638. PMID: 6727935. <https://doi.org/10.1056/NEJM198406213102504>
- Warnes C.A. Transposition of the great arteries. *Circulation.* 2006;114(24):2699-2709. PMID: 17159076. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.592352>
- Kanter R.J., Garson A. Jr. Atrial arrhythmias during chronic follow-up of surgery for complex congenital heart disease. *Pacing Clin Electrophysiol.* 1997;20(2 Pt 2):502-511. PMID: 9058852. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.1997.tb06207.x>
- Khairy P. EP challenges in adult congenital heart disease. *Heart Rhythm.* 2008;5(10):1464-1472. PMID: 18774754. <https://doi.org/10.1016/j.hrthm.2008.05.026>
- Balaji S., Harris L. Atrial arrhythmias in congenital heart disease. *Cardiol Clin.* 2002;20(3):459-468. [https://doi.org/10.1016/s0733-8651\(02\)00007-3](https://doi.org/10.1016/s0733-8651(02)00007-3)
- Warnes C.A., Williams R.G., Bashore T.M., Child J.S., Connolly H.M., Dearani J.A., Del Nido P., Fasules J.W., Graham T.P. Jr, Hijazi Z.M., Hunt S.A., King M.E., Landzberg M.J., Miner P.D., Radford M.J., Walsh E.P., Webb G.D. ACC/AHA 2008 Guidelines for the Management of Adults with Congenital Heart Disease: Executive Summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (writing committee to develop guidelines for the management of adults with congenital heart disease). *Circulation.* 2008;118(23):2395-2451. PMID: 18997168. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.108.190811>
- Kugler J.D., Danford D.A., Houston K.A., Felix G., Pediatric Radiofrequency Ablation Registry of the Pediatric Radiofrequency Ablation Registry of the Pediatric Electrophysiology Society. Pediatric radiofrequency catheter ablation registry success, fluoroscopy time, and complication rate for supraventricular tachycardia: comparison of early and recent eras. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2002;13(4):336-341. PMID: 12033349. <https://doi.org/10.1046/j.1540-8167.2002.00336.x>
- Magnin-Poull I., De Chillou C., Miljoen H., Andronache M., Aliot E. Mechanisms of right atrial tachycardia occurring late after surgical closure of atrial septal defects. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2005;16(7):681-687. PMID: 16050822. <https://doi.org/10.1046/j.1540-8167.2005.30605.x>
- Pappone C., Vicedomini G., Manguso F., Gugliotta F., Mazzone P., Gulletta S., Sora N., Sala S., Marzi A., Augello G., Livolsi L., Santagostino A., Santinelli V. Robotic magnetic navigation for atrial fibrillation ablation. *J Am Coll Cardiol.* 2006;47(7):1390-1400. PMID: 16580527. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2005.11.058>
- van der Voort P.H., Steinhagen J., Dekker L.R., Bullens R., Meijer A. Three-dimensional computed tomography overlay for pulmonary vein antrum isolation: Follow-up and clinical outcomes. *Neth Heart J.* 2012;20(7-8):302-306. PMID: 22653815, PMCID: PMC3402570. <https://doi.org/10.1007/s12471-012-0293-7>
- Jin Q., Pehrson S., Jacobsen P.K., Chen X. Impact of catheter ablation with remote magnetic navigation on procedural outcomes in patients with persistent and long-standing persistent atrial fibrillation. *J Interv Card Electrophysiol.* 2015;44(2):197-204. PMID: 26216480. <https://doi.org/10.1007/s10840-015-0037-x>
- Ernst S., Ouyang F., Linder C., Hertting K., Stahl F., Chun J., Hachiya H., Bänsch D., Antz M., Kuck K.-H. Initial experience with remote catheter ablation using a novel magnetic navigation system: magnetic remote catheter ablation. *Circulation.* 2004;109(12):1472-1475. PMID: 15023876. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000125126.83579.1B>
- Ernst S. Robotic approach to catheter ablation. *Curr Opin Cardiol.* 2008;23(1):28-31. PMID: 18281824. <https://doi.org/10.1097/HCO.0b013e3282f2c95c>
- Ernst S. Magnetic and robotic navigation for catheter ablation: "joystick ablation". *J Interv Card Electrophysiol.* 2008;23(1):41-44. PMID: 18536985. <https://doi.org/10.1007/s10840-008-9272-8>
- Schwagten B., Jordaens L., Witsenburg M., Duplessis F., Thornton A., van Belle Y., Szili-Torok T. Initial experience with catheter ablation using remote magnetic navigation in adults with complex congenital heart disease and in small children. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2009;32(Suppl 1):S198-S201. PMID: 19250093. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8159.2008.02283.x>
- Wu J., Pflaumer A., Deisenhofer I., Ücer E., Hess J., Zrenner B., Hessling G. Mapping of intraatrial reentrant tachycardias by remote magnetic navigation in patients with d-transposition of the great arteries after Mustard or Senning procedure. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2008;19(11):1153-1159. PMID: 18631275. <https://doi.org/10.1111/j.1540-8167.2008.01231.x>
- Akca F., Bauernfeind T., Witsenburg M., Dabiri Abkenari L., Cuypers J.A., Roos-Hesselink J.W., de Groot N.M., Jordaens L., Szili-Torok T. Acute and long-term outcomes of catheter ablation using remote magnetic navigation in patients with congenital heart disease. *Am J Cardiol.* 2012;110(3):409-414. PMID: 22572608. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2012.03.040>
- Roy K., Gomez-Pulido F., Ernst S. Remote magnetic navigation for catheter ablation in patients with congenital heart disease: a review. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2016;27 Suppl 1:S45-S56. PMID: 26969223. <https://doi.org/10.1111/jce.12903>
- Roudijk R.W., Gujic M., Suman-Horduna I., Marchese P., Ernst S. Catheter ablation in children and young adults: is there an additional benefit from remote magnetic navigation? *Neth Heart J.* 2013;21(6):296-303. PMID: 23595705, PMCID: PMC3661873. <https://doi.org/10.1007/s12471-013-0408-9>

Remote magnetic navigation for heart rhythm disturbances treatment in patients after surgical correction of congenital heart disease

Vladimir V. Beloborodov, Nurlan A. Yelemessov, Andrey V. Ponomarenko, Egor A. Morzhanaev, Alexey G. Filippenko, Igor L. Mikheenko, Alexander M. Chernyavskiy, Alexander B. Romanov

Meshalkin National Medical Research Center, Ministry of Health of Russian Federation, Novosibirsk, Russian Federation

Corresponding author. Vladimir V. Beloborodov, beloborodov.vladimir@gmail.com

The prevalence of congenital heart diseases is nine persons per 1000. Sometimes, congenital heart disease needs surgical correction. The long-term postoperative period is often associated with complex heart rhythm disturbances like ectopic or re-entry tachycardia. These cases, in combination with difficult anatomy, results in challenges during interventional treatment. Catheter ablation has been demonstrated as safe and effective in different types of arrhythmia treatments in such patients, including paediatric cohorts. Despite these facts, several important problems regarding using current technologies are still unresolved. Remote magnetic navigation showed good results regarding localisation of arrhythmogenic zones during treatment of complex heart rhythm disturbances. The objective of the present article is to review recently published data in this area and experience of Meshalkin National Medical Research Center in heart rhythm disturbances treatment using remote magnetic navigation in patients after surgical correction of congenital heart disease.

Keywords: catheter ablation; congenital heart disease; heart rhythm disturbances; remote magnetic navigation

Received 28 September 2020. Revised 25 December 2020 r. Accepted 30 December 2020.

Funding: The study did not have sponsorship.

Conflict of interest: Authors declare no conflict of interest.

Author contributions

Conception and study design: A.B. Romanov, A.M. Chernyavskiy

Drafting the article: V.V. Beloborodov, A.V. Ponomarenko, E.A. Morzhanaev

Critical revision of the article: A.B. Romanov, A.V. Ponomarenko, I.L. Mikheenko, E.A. Morzhanaev, A.G. Filippenko, A.M. Chernyavskiy

Final approval of the version to be published: V.V. Beloborodov, N.A. Yelemessov, A.V. Ponomarenko, E.A. Morzhanaev, A.G. Filippenko, I.L. Mikheenko, A.M. Chernyavskiy, A.B. Romanov

ORCID ID

V.V. Beloborodov, <https://orcid.org/0000-0003-1568-9472>

N.A. Yelemessov, <https://orcid.org/0000-0001-6316-7375>

A.V. Ponomarenko, <https://orcid.org/0000-0002-5468-9961>

E.A. Morzhanaev, <https://orcid.org/0000-0003-4643-8852>

A.G. Filippenko, <https://orcid.org/0000-0001-8068-7276>

I.L. Mikheenko, <https://orcid.org/0000-0002-3552-7158>

A.M. Chernyavskiy, <https://orcid.org/0000-0001-9818-8678>

A.B. Romanov, <https://orcid.org/0000-0002-6958-6690>

Copyright: © 2021 Beloborodov et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

How to cite: Beloborodov V.V., Yelemessov N.A., Ponomarenko A.V., Morzhanaev E.A., Filippenko A.G., Mikheenko I.L., Chernyavskiy A.M., Romanov A.B. Remote magnetic navigation for heart rhythm disturbances treatment in patients after surgical correction of congenital heart disease. *Patologiya krovoobrashcheniya i kardiokhirurgiya = Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2021;25(1):32-39. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.21688/1681-3472-2021-1-32-39>