

# Безопасность использования лечебно-диагностических процедур, вызывающих электромагнитную интерференцию у пациентов с имплантированными электрокардиостимуляторами

**Искендеров Б. Г., Лохина Т. В., Беренштейн Н. В.**

Пензенский институт усовершенствования врачей — филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования»  
Минздрава России, Пенза, Россия.

## Авторы

**Искендеров Бахрам Гусейнович\***, доктор медицинских наук, профессор кафедры терапии, кардиологии, функциональной диагностики и ревматологии ПИУВ — филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, Пенза, Россия.

**Лохина Татьяна Викторовна**, доктор медицинских наук, заведующая кафедрой терапии, кардиологии, функциональной диагностики и ревматологии ПИУВ — филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, Пенза, Россия.

**Беренштейн Наталья Васильевна**, кандидат медицинских наук, доцент кафедры терапии, кардиологии, функциональной диагностики и ревматологии ПИУВ — филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, Пенза, Россия.

*С каждым годом неуклонно растет численность пациентов с имплантированными электрокардиостимуляторами (ЭКС) во всем мире. В клинической практике широко используются различные лечебно-диагностические процедуры, которые потенциально могут вызвать изменения параметров ЭКС вплоть до полного отключения, т.е. электромагнитную интерференцию (ЭМИ). Поэтому важно правильное обоснование показаний к применению конкретного лечебно-диагностического метода и обеспечение его безопасности у пациентов с имплантированными ЭКС. В обзорной статье подробно изложены причины возникновения ЭМИ, характер нарушений системы электростимуляции сердца и способы возможной профилактики, а также необходимость контроля и коррекции параметров ЭКС после выполнения процедуры. Особое внимание уделено анализу таких методов диагностики и лечения как магнитно-резонансная томография, радиотерапия и катетерная радиочастотная абляция, а также некоторых методов физиотерапии. Наряду с этим подчеркнута важность соблюдения общепринятых рекомендаций о нецелесообразности использования методов, представляющих риск для жизни пациентов с имплантированными ЭКС.*

**Ключевые слова:** электрокардиостимулятор, электростимуляция сердца, электромагнитная интерференция, физиотерапия.

**Конфликт интересов:** не заявлен.

Поступила: 07.07.2020

Принята: 25.08.2020

## Safety of Implementation of Diagnostic and Therapeutic Methods Inducing Electromagnetic Interference in Patients with Implanted Pacemakers

Iskenderov B. G., Lokhina T. V., Berenshtejn N. V.

Penza Institute for Advanced Medical Studies — a branch of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Penza, Russia.

### Authors

**Bakhran G. Iskenderov**, M.D., Ph.D., professor of the Department of the Internal Medicine, Cardiology, Functional Diagnostics and Rheumatology of Penza Institute for Advanced Medical Studies — a branch of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Penza, Russia.

**Tatiana V. Lokhina**, M.D., Ph.D., head of the Department of the Internal Medicine, Cardiology, Functional Diagnostics and Rheumatology of Penza Institute for Advanced Medical Studies — a branch of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Penza, Russia.

**Natal'ya V. Berenstein**, M.D., Ph.D., docent of the Department of the Internal Medicine, Cardiology, Functional Diagnostics and Rheumatology of Penza Institute for Advanced Medical Studies — a branch of Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Penza, Russia.

*The number of patients with implanted pacemakers is steadily rising throughout the world. At the same time, a great variety of modern medical procedures that are routinely used in clinical practice can potentially cause changes in pacemaker settings and even lead to the total dysfunction of the device, which can also be referred to as electromagnetic interference (EMI). Therefore, specific therapeutic and diagnostic methods should be used rationally in patients with pacemakers and potential EMI must be considered. In the current review we discuss EMI causes, types of pacemaker malfunction and possible precautions, and the need of pacemaker settings control and correction after the procedures. Magnetic Resonance Imaging (MRI), therapeutic radiation, catheter radiofrequency ablation and some types of physiotherapy are thoroughly analyzed. We also discuss the importance of avoiding the irrational use of procedures that can be potentially dangerous for patients with implanted pacemakers.*

**Keywords:** pacemaker, electrical stimulation of the heart, electromagnetic interference, physiotherapy

**Conflict of interests:** None declared.

### Список сокращений

ИАУ — имплантируемые антиаритмические устройства

МРТ — магнитно-резонансная томография

РЧА — радиочастотная абляция

ЭК — электрокоагуляция

ЭКС — электрокардиостимулятор

ЭМИ — электромагнитная интерференция

ЭС — электростимуляция

### Введение

Численность пациентов с имплантированными антиаритмическими устройствами (ИАУ) во всем мире постоянно растет благодаря широкому применению электрокардиостимуляторов (ЭКС), импланти-

руемых кардиовертеров-дефибрилляторов и кардиоресинхронизирующей терапии, а также за счет увеличения продолжительности жизни населения планеты [1–3]. В России проводится около 40 тысяч имплантаций ЭКС, более 2 тысяч имплантаций

кардиовертеров-дефибрилляторов и около 1 тысячи –кардиоресинхронизирующей терапии в год [4]. Ежегодный рост числа имплантаций ЭКС в среднем на 8–10%, тем не менее, по данным Министерства здравоохранения Российской Федерации, потребность в имплантации ЭКС составляет 350–400 человек на 1 млн населения в год [3, 4].

Необходимо отметить, что современные модели имплантируемых ЭКС являются биоуправляемыми, т.е. воспринимают внутри- и внесердечные электрические потенциалы и обеспечивают работу ЭКС в режимах ингибируемой и/или синхронизирующей электростимуляции (ЭС) сердца [5–7]. Кроме того, используемые в настоящее время ЭКС, являются сложными программируемыми устройствами, обладающими большим количеством терапевтических и диагностических функций, и поэтому нуждаются в профилактическом техническом контроле, а при необходимости в программировании различных параметров их работы [1, 6–8].

Как известно, удельный вес физиологических режимов ЭС с применением мультифокальных и частотно-адаптивных ЭКС в ведущих странах мира составляет более 50% [5, 7, 9] и в Российской Федерации — 33,7% [4]. Разработка мультисенсорных систем обеспечила надежную частотную адаптацию современных ЭКС и, тем самым, расширила их терапевтические возможности [2, 6, 9].

### **Технические характеристики ЭКС и риск возникновения ЭМИ**

Среди потенциальных причин возникновения ЭМИ, наряду с внешними источниками электромагнитных воздействий, необходимо отметить электрические характеристики ЭКС [9, 10]. В настоящее время используемые модели ЭКС имеют напряжение стимулирующего импульса от 2,0 до 5,0 вольт и амплитуду воспринимаемых кардиальных сигналов от 1,5 до 3,5 вольт [10, 11]. Как известно, биоуправляемые ЭКС по сравнению с асинхронными режимами ЭС более уязвимы к электромагнитным помехам [3, 7, 13]. У пациентов с частотно-адаптивными (сенсорными) ЭКС восприятие внешних электрических сигналов способно провоцировать пейсмекерную тахикардию [1, 13, 14]. При изолированной предсердной и предсердно-желудочковой ЭС возможно нарушение чувствительности и/или захвата импульса предсердного канала ЭС из-за низких электрических параметров [5, 12].

Доказано, что монополярная система ЭС с использованием анода-электрода по сравнению с би-

полярной системой ЭС уязвима для ЭМИ [15, 16]. С этой целью разработаны «флотирующие» предсердные электроды биполярной конфигурации, используемые в режимах VAT и VDD, которые позволяют минимизировать риск возникновения ЭМИ и гиперсенсинга ЭКС [1, 5, 7]. Применение моноэлектродной системы ЭС позволяет использовать наименьшую чувствительность ЭКС, что делает ЭКС менее восприимчивым для внешних электромагнитных сигналов [17]. При биполярной системе ЭС, регистрируемый уровень сегмента ST и амплитуда зубца T на 40% ниже, чем при монополярной ЭС, что снижает риск возникновения ЭМИ и подавления ЭКС [16].

При DDD-стимуляции, вследствие гиперсенсинга предсердного канала, вызванного ЭМИ, может наблюдаться автоматическое переключение в режим VI-стимуляции или DDI, для которых характерно отсутствие АВ-синхронизации [13, 16, 18]. Другим негативным эффектом ЭМИ при DDD-стимуляции может быть возникновение частой желудочковой ЭС до верхне-частотного предела за счет гиперсенсинга предсердного канала ЭС для высокочастотных некардиальных сигналов. Интерференция электромагнитного поля с желудочковым каналом ЭС может привести к полной ингибции ЭКС с выраженной брадиаритмией вплоть до асистолии, особенно у «пейсмекер-зависимых» пациентов [19].

**Магнитно-резонансная томография (МРТ)**, применяемая для исследования внутренних органов с использованием ядерного магнитного резонанса, является источником мощного электромагнитного излучения [20, 21]. Показано, что примерно 50–75% пациентов с имплантированными ЭКС могут нуждаться в МРТ-исследовании в течение длительного периода постоянной ЭС [22]. Также необходимо отметить, что в клинических рекомендациях метод МРТ у пациентов с имплантированными ЭКС рассматривается как относительное противопоказание, и возможность его проведения должна определяться с учетом степени предполагаемого риска осложнений и терапевтической пользы [6].

Систематический обзор, составленный Zikria J. F. и другими [2011] по результатам мета-анализа 30 публикаций, посвященных изучению безопасности применения МРТ-исследования с напряженностью поля 1,5 Тесла у 1419 пациентов с имплантированными ЭКС, не выявил существенных изменений в системе ЭС [21]. При этом проводились МРТ-исследования различных анатомических обла-

стей тела, в том числе грудной клетки и сердца. Показано, что воздействие магнитного поля МРТ замыкает геркон ЭКС, который вызывает автоматическое переключение в асинхронный режим ЭС и учащение частоты импульсов.

В проспективном клиническом исследовании у пациентов с ЭКС, подвергшихся МРТ-исследованиям с напряженностью магнитного поля 0,5 Тесла, не выявлено изменений импеданса электрода, чувствительности (сенсинга) и порога ЭС [23]. Однако наблюдалось уменьшение напряжения батареи, увеличение величин тока и сопротивления батареи ЭКС. Также у 1/3 пациентов, у которых имплантируемый ЭКС оказался в центре магнитного поля, возникла временная деактивация геркона ЭКС. В монополярной системе ЭС и у пациентов с частотно-адаптивными ЭКС могла наблюдаться частая желудочковая ЭС из-за влияния радиочастотного сигнала магнитного поля [24].

По результатам клинических исследований, в 80–90% случаев в связи с проведением различных МРТ-исследований у пациентов с ЭКС каких-либо серьезных осложнений системы ЭС не отмечалось [24]. Но, в отдельных клинических наблюдениях были выявлены различные нарушения ЭС, которые в большинстве случаев после МРТ-исследования спонтанно проходили или были восстановлены путем программирования [11, 23, 25]. Так, эти нарушения были связаны с автоматическим переключением режимов биоуправляемой ЭС в асинхронный режим, увеличением порога ЭС, сбросом установленных ранее параметров, т. е. переходом в базисные параметры ЭКС, уменьшением напряжения импульса (заряда батареи) ЭКС. При оценке влияния МРТ 1,5 Тесла на функции имплантируемого ЭКС в условиях *in vitro* выявлялся значительный нагрев контактной головки электрода [10].

У пациентов, не имеющих МРТ-совместимых ЭКС, и нуждающихся по каким-либо показаниям в МРТ-исследовании, должны предприниматься меры безопасности [6, 26]. Так, предварительно должен определяться статус «пейсмекер-зависимости» пациента, а также до и после проведения МРТ следует осуществить полную проверку ЭКС. У «пейсмекер-независимых» пациентов ЭКС должен быть запрограммирован в режим 000 (т. е. выключение), а биоуправляемые режимы ЭС переводятся в асинхронный режим ЭС. По возможности, предпочтительно использование низкой мощности магнитного поля (0,5 Тесла). Во время МРТ-исследования необходимо контролировать состоя-

ние пациента путем мониторинга важных жизненных функций.

Для надежной безопасности МРТ-исследования разработаны следующие требования к ИАУ [22]: дополнительный контроль переключения в магнитный режим; улучшенная защита от электромагнитных помех, приводящих к сбросу электропитания; возможность программирования специальных режимов для МРТ; использование электродов с минимальным нагревом кончика; исключение или минимизация ферромагнитных компонентов. Начиная с 2011 года, выпускаются МРТ-совместимые имплантируемые ЭКС, которые оснащены функцией SureScan™, включение которой перед проведением данного исследования, обеспечивает полную безопасность системы ЭС [21].

### **Электрическая дефибрилляция / кардиоверсия**

Использование электрической кардиоверсии у пациентов с имплантированными ЭКС долгое время вызывало беспокойство относительно возможного неблагоприятного воздействия на генератор и/или электрод [26]. Однако появившиеся в последние годы усовершенствованные ЭКС, имеющие в основном биполярные электроды, лучше защищены от внешних электромагнитных помех [6, 7, 22]. Кроме того, разработка кардиовертеров/дефибрилляторов с использованием двухфазных импульсов позволила повысить эффективность метода и снизить энергопотребление, что способствовало значительному снижению риска повреждения в системе ЭС [10].

Среди проблем, вызванных влиянием электрической кардиоверсии/дефибрилляции у пациентов с имплантированными ЭКС, было отмечено возврат в резервный режим ЭС, кратковременное повышение порога ЭС, потеря захвата, повреждение генератора ЭКС и электрической схемы [10, 16]. Показано, что у пациентов с монополярным ЭКС, расположенном в правой подключичной области, в 50% случаев отмечается потеря захвата импульса из-за повышенного порога, возникающего под влиянием относительно большой кумулятивной энергии электрошоковой терапии [9]. Также отмечено нарушение чувствительности ЭКС, а в редких случаях отказ генератора, требующий реимплантации ЭКС. Но ни в одном случае не было выявлено дисфункции электрода.

Анализ причин развития синдрома «убегающего пейсмекера» ("gun away pacemaker") в большин-

стве случаев установил факт применения в прошлом электрической дефибрилляции [27]. Этим синдромом называют внезапно возникающую частую желудочковую ЭС («пейсмекерную тахикардию»), с постоянно увеличивающейся частотой импульсов свыше 150 имп/мин, которая представляет угрозу возникновения фибрилляции желудочков. Предполагается, что это обусловлено повреждением электронной схемы ЭКС под влиянием кардиоверсии/дефибрилляции, когда ЭКС генерирует электрические импульсы различной амплитуды и частоты. При этом требуется проведение срочной реимплантации ЭКС.

Большинство производителей ЭКС при выполнении электрической кардиоверсии рекомендуют использовать режимы VOO/AOO, чтобы выключить усилитель входного сигнала с целью недопущения ингибиции (подавления) ЭКС [17,25]. Кроме того, время между двумя последовательными электрическими разрядами должно быть более 5 минут, чтобы позволить охлаждение диодов. После кардиоверсии/дефибрилляции ЭКС должен быть протестирован. В случае повышения порога ЭС следует увеличить напряжение стимулирующего импульса, а также любое изменение порога чувствительности ЭКС должно быть исправлено путем перепрограммирования.

У пациентов с ЭКС рекомендуется использовать как можно меньшую эффективную энергию для кардиоверсии. Также перед выполнением процедуры следует запрограммировать ЭКС на максимальное напряжение импульса [10]. Нарушения системы ЭС можно предотвратить, если при переднегрудной локализации электродов дефибриллятора их расположить как минимум на 15 см от ЭКС или использовать переднезаднюю локализацию электродов. Благодаря этому электрическое поле оказывается перпендикулярным ходу внутрисердечного электрода, а не параллельным ему.

### **Катетерная радиочастотная абляция (РЧА)**

Аблятор, применяемый для РЧА, генерирует модулированные радиочастотные сигналы в диапазоне от 400 до 500 кГц [27]. Большинство имплантируемых ЭКС с различными режимами функционирования у пациентов, перенесших процедуру РЧА, показали хорошую защиту от помех, создаваемых радиочастотным током [10]. При этом ингибиции ЭКС, недостаточной или избыточной чувствительности к кардиальным сигналам (гипо- или гипер-

сенсинг) не наблюдалось [28]. Однако в другом клиническом исследовании у пациентов, в основном с монополярной конфигурацией электрода, после выполненной РЧА были выявлены нарушения функции сенсинга (детекции) и ЭС [29].

Для безопасности системы ЭС у пациентов, нуждающихся в катетерной РЧА, важно определить статус «пейсмекер-зависимости» и, в случае необходимости, обеспечить временную ЭС [3,27]. Кроме того, перед выполнением РЧА должна быть выключена функция частотной адаптации ЭКС. Необходимым условием является максимально короткая по продолжительности экспозиция радиочастотных аппликаций и расположение контактной головки ЭКС на достаточном расстоянии от зоны воздействия. Если пациент не является «пейсмекер-зависимым», топараметры ЭКС могут быть запрограммированы в режим OOO, что означает выключение ЭКС, или в режим VVI с более низкой частотой, чем собственная частота сердечных сокращений [10]. Если пациент является «пейсмекер-зависимым», то ЭКС должен быть запрограммирован в асинхронный режим VOO. У пациентов с «безэлектродной» ЭС нарушения работы ЭКС и/или дефект электрода при проведении катетерной РЧА атриовентрикулярного соединения наблюдались реже, чем при имплантации трансвенозного электрода [29]. Поэтому непосредственно после процедуры РЧА важно провести тестирование системы ЭС.

**Радиотерапия.** Излучение высокой энергии может быть причиной различных неблагоприятных воздействий, таких как: прямое повреждение цепи ЭКС или влияние преходящей ЭМИ. В современных имплантируемых ЭКС используется комплементарная — метало-оксидная полупроводниковая схема, которая очень надежна и в энергетическом плане эффективна, а также занимает меньшее пространство [1, 7, 11]. Показано, что излучение может привести к повреждению тонких оксидных слоев и транзисторов из-за накопления положительного заряда внутри схемы ЭКС, способных вызвать выход из строя различных аккумуляторных компонентов или ускоренное истощение батареи [10,30]. Тип излучения, его кумулятивная доза и местоположение ЭКС определяют суммарный ущерб. Также могут произойти нарушения функций детекции (восприятия) кардиосигналов, телеметрии, «разгона» частотной адаптации и полная ингибиция ЭКС [30,31].

Salerno F. и другие [2016] протестировали работу ЭКС во время лучевой терапии. При этом выявля-

ны следующие нарушения ЭС [30]: временное изменение режима ЭС, продолжающееся в течение периода облучения; переход на режим помех с восстановлением исходного режима после перепрограммирования ЭКС; повреждение ЭКС, вызвавшее прекращение функции генерировать импульсы, которое держалось продолжительное время. В связи с этим пациентам, проходящим лучевую терапию, рекомендуется находиться под пристальным наблюдением в течение курса лечения и через несколько недель после него.

Если имеется абсолютное показание к лучевой терапии, то необходимо принять некоторые меры предосторожности перед облучением пациента с ЭКС [10,31]. Перед сеансом лучевой терапии важно оценить статус «пейсмейкер-зависимости» пациента. Нужно расположить поле излучения под углом относительно к ЭКС, чтобы свести к минимуму количество радиации, доставленной на стороне ЭКС. Общий лимит накопленной дозировки радиации не должен превышать 2 рад, которая контролируется с помощью дозиметров. Кроме того, требуется дополнительная экранировка ЭКС с запасом 1 см. Прямое облучение ЭКС следует избегать и, если это невозможно, в этом случае ЭКС должен быть удален и перемещен на другую подходящую сторону. Необходим тщательный мониторинг состояния пациента и наличие возможности начать временную ЭС при необходимости.

**Электрокоагуляция** — наиболее распространенный и недорогой метод, применяемый для выполнения разреза или коагуляции тканей, с использованием, как правило, переменного тока высокой частоты [32]. При этом из-за высокой частоты электрических сигналов у пациентов с ЭКС могут возникать ингибция стимулирующих импульсов или запуск частой желудочковой ЭС. Последнее возникает у пациентов с двухкамерной предсердно-желудочковой ЭС и частотно-адаптивными ЭКС в результате детекции (восприятия) электрокоагулирующих сигналов, которые имитируют управляющие предсердные потенциалы [16]. Кроме того, ток, генерируемый ЭК, может вызвать термическое повреждение миокарда из-за концентрации тока в контактной зоне «электрод-ткань» и последующее повышение порога ЭС [10]. Выполнение ЭК рядом с ЭКС может привести к переключению в режим асинхронной ЭС или ингибции ЭКС из-за гиперсенсинга [13]. Следовательно, ЭК по возможности должна быть биполярной и не должна использоваться вблизи ЭКС — на расстоянии менее чем

15 см. Направление потока тока должно быть перпендикулярно к электроду и каждый эпизод применения ЭК должен быть ограничен несколькими секундами. ЭКС должен быть запрограммирован на асинхронный режим VOO и/или устанавливается дополнительный эндокардиальный электрод для резервной временной ЭС [26]. Показано, что в области ЭК использование ультразвукового скальпеля снижает риск ЭМИ [10], а также следует использовать минимальные мощности энергии для ЭК.

### **Смарт-устройства, предназначенные для мониторинга сердечного ритма**

В последнее время приобретает актуальность внедрение интерактивных телекоммуникационных технологий для решения лечебно-диагностических мероприятий и постоянного домашнего контроля состояния пациентов с ИАУ, снабженной функцией Home Monitoring [33–35]. Согласно клиническим рекомендациям, необходимо обеспечить телемониторинг всех пациентов с имплантируемым кардиовертером-дефибриллятором, кардиоресинхронизирующей терапией и «пейсмейкер-зависимых» пациентов, составляющих около 20 % от общего числа пациентов с ЭКС [6].

Новые медицинские технологии удаленного доступа позволяют контролировать функционирование ИАУ и своевременно регистрировать неблагоприятные кардиоваскулярные события, чтобы устранить их последствия [34]. В связи с этим представляет большой интерес изучение безопасности и совместимости систем телемониторинга состояния пациентов с ЭКС. Необходимо отметить, что беспроводные передающие радиосигналы электрические оборудования представляют особый интерес у пациентов с имплантируемыми ЭКС из-за более высокой напряженности магнитного поля. Однако неограниченное использование этой технологии у пациентов с ЭКС не может быть рекомендовано в настоящее время [6].

Abudan A. A. и другие [2019] изучали безопасность смарт-совместимого устройства "AliveCor Kardia" (США) у 251 пациента с ЭКС [36]. Записи ЭКГ от пациентов были получены при их рутинном запросе. Во время регистрации ЭКГ не было отмечено никаких неблагоприятных клинических событий и изменений в работе ЭКС. Записи ЭКГ были правильно интерпретированы в 90 % случаев, зарегистрированных при искусственном ритме, и в 94,7 % случаев — при спонтанном ритме сердца. Показано, что устройство "Alive Cor Kardia" имеет

превосходный профиль безопасности при использовании у пациентов с имплантированными ЭКС, не вызывает явления ЭМИ и может быть использовано для телемониторинга сердечного ритма.

### **Возможности и безопасность применения физиотерапевтических процедур**

На протяжении многих лет сложившаяся клиническая практика, а также отсутствие клинических исследований, посвященных изучению возможностей и безопасности применения физиотерапевтических методов у пациентов с ЭКС, способствовало выработке пессимистического подхода у кардиологов, физиотерапевтов и кардиохирургов к решению этой задачи [37]. Это, в первую очередь, связано с потенциальным риском возникновения нарушений ЭС и непредсказуемой реакцией пациента при выполнении физиотерапевтических методов, индуцирующих электромагнитные поля. Необходимо отметить, что современные положения о показаниях и противопоказаниях к выбору методов физиотерапии у пациентов с ЭКС базируются на консенсусе, а не доказательствах, подтвержденных в клинических исследованиях [6, 11, 38].

Известно, что показания и противопоказания к проведению физиотерапевтического лечения у пациентов с ЭКС, в основном, зависят от конкретного метода физиотерапии [10, 18, 37, 38]. В большинстве рекомендаций к физиотерапевтическим методам, вызывающим минимальный риск возникновения ЭМИ, относятся [38]: мануальная терапия/растяжение; акупунктура (за исключением электроакупунктуры); магнитотерапия; пульсовая радиотерапия (если не выполняется через ложе ЭКС); лазеротерапия; ультразвуковая терапия; гипербарическая кислородная терапия; фототерапия. Наоборот, такие методы физиотерапии как интерференционная электротерапия, микротоковая электротерапия, чрескожная электронейростимуляция, коротко-импульсная электроаналгезия и диатермия являются противопоказанными у пациентов с имплантированными ЭКС.

Учитывая, что рекомендации о возможности и безопасности применения того или другого метода физиотерапии у пациентов с ЭКС основываются на отдельных клинических наблюдениях или исследованиях с малой выборкой, большинство производителей ИАУ не рекомендует использование диатермии, чрескожной электронейростимуляции и интерференционной электротерапии у данной

категории пациентов [12, 13, 38]. В отдельных работах с применением вышеуказанных методов физиотерапии выявлены последствия ЭМИ, проявляющиеся различными нарушениями ЭС: ингибция ЭКС; снижение или повышение чувствительности ЭКС; автоматическое переключение ЭКС в асинхронный режим ЭС; учащение частоты импульсов (эффект наружного магнита); снижение амплитуды импульса и т.д. [10, 16, 33, 37]. Показано, что влияние ЭМИ иногда проявляется преходящим повышением порога ЭС или потерей захвата импульса, а также повреждением генератора и электронной схемы, требующие замены ЭКС [38].

Анализ причин возникновения ЭМИ показал, что индуцированные изменения системы ЭС зависят от: применяемой мощности электрического тока; расстояния между ЭКС и участком тела, подвергающимся физиотерапевтическому воздействию; расположения ЭКС и стимулирующих электродов относительно электромагнитного поля; функциональных параметров ЭКС [38]. Эти изменения ЭС нередко носят преходящий характер и после прекращения физиопроцедуры исчезают, однако после каждого сеанса следует контролировать параметры ЭС и при необходимости перепрограммировать ЭКС.

### **Технологии и профилактические меры, направленные на повышение помехоустойчивости имплантируемых ЭКС**

В современных моделях ЭКС применяются различные технологии по повышению их помехоустойчивости [2, 5, 11]. Важной является экранировка электронной схемы ЭКС, т.е. размещение ее внутри герметичного корпуса из титана или нержавеющей стали, а также применение дополнительного изоляционного покрытия, которое делает ЭКС невосприимчивым к электромагнитным полям [39]. Кроме того, широко используются полосовые фильтры, защищающие ЭКС от высокочастотных полей, и тем самым, предотвращающие восприятие внешних электрических сигналов, способных вызвать ЭМИ [11]. Также применяются устройства, автоматически переводящие биоуправляемые ЭКС в 1 синхронный режим ЭС при наличии интенсивной помехи [5, 6]. Одним из достижений последних лет является создание имплантируемых «безэлектродных» ЭКС, которые из-за отсутствия электрода, минимальных размеров и внутрисердечного расположения самого аппарата, делают эти систе-

мы менее уязвимыми к электромагнитным воздействиям [29,40]. Возникновение ЭМИ также можно предотвратить, если соблюдать меры предосторожности, связанные с оптимизацией проведения конкретной лечебно-диагностической процедуры.

Необходимо отметить, что имплантируемые ЭКС, выпускаемые в Российской Федерации, должны отвечать техническим требованиям Межгосударственного стандарта ГОСТ 31212-2003 «Электрокардиостимуляторы имплантируемые. Общие технические требования и методы испытаний» (введен в действие: 01.01.2015). Имплантируемые ЭКС, как изделия II класса защиты от воздействия электрического тока, имеют комбинированную систему изоляции (основную и усиленную), которая обеспечивается наличием сплошного металлического корпуса из изоляционного материала, который закрывает все токопроводящие части [11]. С учетом указанных требований не должно происходить нарушения функций ЭКС после разряда дефибриллятора, а также они должны быть устойчивыми к электромагнитным полям. Однако требования по электромагнитной совместимости находятся в процессе разработки.

С целью минимизации риска ЭМИ рекомендуется перед лечебно-диагностической процедурой проводить временное перепрограммирование ЭКС [12,13,16,17,38]: 1) ЭКС запрограммировать на биполярный режим работы; 2) оценить необходимость асинхронной ЭС, в том числе путем использования наружного магнита; 3) запрограммировать ЭКС на минимальную чувствительность, если это не вызывает конкуренции спонтанного и искусственного водителей ритма; 4) запрограммировать ток импульса ЭКС на максимальную величину; 5) у пациентов, имеющих частотно-адаптивные ЭКС, должна быть выключена функция частотной адаптации; 6) обязательно до и после процедуры оценить работу ЭКС

и при необходимости выполнить перепрограммирование параметров ЭКС; 7) использовать портативные симуляторы сердца, позволяющие в каждом конкретном случае выявить риск возникновения ЭМИ и способы ее устранения.

## Заключение

Следует отметить, что в повседневной жизни пациенты с имплантированными ЭКС потенциально уязвимы перед неблагоприятными воздействиями многих источников электромагнитных полей. Врачи, курирующие пациентов с ЭКС, должны быть осведомлены об этих проблемах, и меры предосторожности должны быть приняты для предотвращения возможного ЭМИ. Это означает, что для определения показаний и противопоказаний, обеспечения безопасности применения различных лечебно-диагностических методов необходимо понимать принципы их работы, а также режимы функционирования ЭКС. Разумеется, пациенты с имплантированными ЭКС, получающие лечебно-диагностические процедуры, должны тщательно обследоваться в отношении риска возникновения ЭМИ. При возникновении сомнений относительно безопасности назначаемых процедур следует провести консультацию со специалистами клиники по лечению аритмий сердца.

Учитывая отсутствие и/или противоречивость рекомендаций по использованию различных лечебно-диагностических методов, создающих электромагнитные эффекты, требуется проведение клинических исследований у пациентов с имплантированными ЭКС для создания доказательной базы.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

## Литература/References

1. de Vries L.M., Dijk W.A., Hooijschuur C.A. et al. Utilisation of cardiac pacemakers over a 20-year period: Results from a nationwide pacemaker registry. *Neth Heart J.* 2017;25(1):47-55. doi: 10.1007/s12471-016-0880-0
2. Steffen M.M., Osborn J.S., Cutler M.J. Cardiac implantable electronic device therapy: permanent pacemakers, implantable cardioverter defibrillators, and cardiac resynchronization devices. *Med Clin North Am.* 2019;103(5):931-943. doi: 10.1016/j.mcna.2019.04.005
3. Kolpakov E.V. Long-term prospects for the implantation of pacemakers. *Meditinskiy al'manakh.* 2017; 48(3): 104-111. Russian (Колпаков Е.В. Отдаленные перспективы имплантации кардиостимуляторов. *Медицинский альманах.* 2017; 48(3): 104-111).
4. Bokeriya L.A., Revishvili A.Sh., Dubrovsky I.A. Cardiac pacing in Russia in 2011. *Vestnikaritmologii.* 2013; 73: 75-79. Russian (Бокерия Л.А., Ревишвили А.Ш., Дубровский И.А. Состояние электрокардиостимуляции в России в 2011 году. *Вестник аритмологии.* 2013;73:75-79).
5. Vardas P.E., Simantirakis E.N., Kanoupakis E.M. New developments in cardiac pacemakers. *Circulation.*



- 2013;127(23):2343–2350. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.112.000086
6. Clinical recommendations for electrophysiological studies, catheter ablation and implantable antiarrhythmic devices. M., 2017: 17–54. Russian (Клинические рекомендации по проведению электрофизиологических исследований, катетерной абляции и применению имплантируемых антиаритмических устройств. М., 2017: 17–54).
7. Das A., Kahali D. Physiological cardiac pacing: current status. *Indian Heart J.* 2016;68(4):552–558. doi: 10.1016/j.ihj.2016.03.033
8. Iskenderov B.G., Zaitseva A.V. Pathophysiological aspects and therapeutic effects of permanent cardiac pacing. *International Heart and Vascular Disease Journal.* 2019; 7(24): 4–13. Russian (Искендеров Б.Г., Зайцева А.В. Патофизиологические аспекты и терапевтические эффекты постоянной электростимуляции сердца. *Международный журнал сердца и сосудистых заболеваний.* 2019; 7(24): 4–13).
9. Belyaev I., Dean A., Eger H. et al. EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses. *Rev Environ Health.* 2016;31(3):363–397. doi:10.1515/revh-2016-0011
10. Erdogan O. Electromagnetic interference on pacemakers. Brief review. *Indian pacing and electrophysiology J.* 2002; 2(3): 74–78.
11. Interstate standard. GOST 31212-2003. Implantable cardiac pacemakers. General technical requirements and test methods. M., Standartinform, 2014. 19 p. Russian (Межгосударственный стандарт ГОСТ 31212-2003 «Электрокардиостимуляторы имплантируемые. Общие технические требования и методы испытаний». М., Стандартинформ, 2014. 19 с.).
12. Driessen S., Napp A., Schmiedchen K. et al. Electromagnetic interference in cardiac electronic implants caused by novel electrical appliances emitting electromagnetic fields in the intermediate frequency range: a systematic review. *Europace.* 2019;21(2):219–229. doi: 10.1093/europace/euy155
13. Egger F., Hofer C., Hammerle F.P. et al. Influence of electrical stimulation therapy on permanent pacemaker function. *Wien Klin Wochenschr.* 2019; 131(13-14): 313–320. doi: 10.1007/s00508-019-1494-5
14. Schukro C., Puchner S.B. Safety and efficiency of low-field magnetic resonance imaging in patients with cardiac rhythm management devices. *Eur J Radiol.* 2019; 118:96–100. doi: 10.1016/j.ejrad.2019.07.005
15. Seckler T., Stunder D., Schikowsky Ch. et al. Effect of lead position and orientation on electromagnetic interference in patients with bipolar cardiovascular implantable electronic devices. *Europace.* 2017;19(2):319–328. doi: 10.1093/europace/euv458
16. Gercek C., Kourtiche D., Nadi M. et al. Computation of pacemaker's immunity to 50 Hz electric field: Induced voltages 10 times greater in unipolar than in bipolar detection mode. *Bioengineering.* 2017;4(1):19–34. doi: 10.3390/bioengineering4010019
17. Corzani A., Ziacchi M., Biffi M. et al. Clinical management of electromagnetic interferences in patients with pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators: review of the literature and focus on magnetic resonance conditional devices. *J Cardiovasc Med.* 2015; 16(10): 704–713. doi: 10.2459/JCM.0000000000000301
18. Lister T., Grant L., Lee S.M., et al. Electromagnetic interference from lasers and intense light sources in the treatment of patients with artificial pacemakers and other implantable cardiac devices. *Lasers Med Sci.* 2015;30(5):1619–1622. doi: 10.1007/s10103-013-1470-7
19. Napp A., Stunder D., Ma M. et al. Are patients with cardiac implants protected against electromagnetic interference in daily life and occupational environment? *Eur Heart J.* 2015;36:1798–1804. doi: 10.1093/eurheartj/ehv135
20. Muthalaly R.G., Nerlekar N., Ge Y. Magnetic resonance imaging in patients with cardiac implantable electronic devices. *Radiology.* 2018; 289:281–292. doi: 10.1148/radiol.2018180285
21. Zikria J.F., Machnicki S., Rhim E., et al. MRI of patients with cardiac pacemakers: a review of the medical literature. *Am. J. Roentgenol.* 2011; 196(2): 390–401. doi: 10.2214/AJR.10.4239
22. Bokeriya O.L., Akhobekov A.A. The safety of magnetic resonance imaging in patients with implanted pacemakers and cardioverter defibrillators. *Annaly aritmologii.* 2012; 2: 32–39. Russian (Бокерия О.Л., Ахобеков А.А. Безопасность проведения магнитно-резонансной томографии у пациентов с имплантированными электрокардиостимуляторами и кардиовертерами-дефибрилляторами. *Анналы аритмологии.* 2012; 2: 32–39).
23. Ribatti V., Santini L., Forleo G.B. et al. Electromagnetic interference in the current era of cardiac implantable electronic devices designed for magnetic resonance environment. *G Ital Cardiol.* 2017;18(4):295–304. doi: 10.1714/2683.27472
24. Ferreira A.M., Costa F., Tralhao A. MRI-conditional pacemakers: current perspectives. *Medical Devices: Evidence and Research.* 2014; 7: 115–124. doi: 10.2147/MDER.S44063
25. Yadava M., Nugent M., Krebsbach A. et al. Magnetic resonance imaging in patients with cardiac implantable electronic devices: a single-center prospective study. *J Interv Card Electrophysiol.* 2017; 50(1):95–104. doi: 10.1007/s10840-017-0262-6
26. Iskenderov B.G., Kazantsev A.V., Il'in O.A. et al. Terms and indications for pacemaker implantation in patients with acute myocardial infarction complicated by atrioventricular block. *Kardiologiya.* 2000; 8: 20–24. Russian (Искендеров Б.Г., Казанцев А.В., Ильин О.А. и др. Сроки и показания к имплантации кардиостимулятора у больных острым инфарктом миокарда, осложненным атриовентрикулярной блокадой. *Кардиология.* 2000; 8: 20–24).

27. Mittal S., Musat D. L., Hoskins M. H. et al. Clinical outcomes after ablation of the AV junction in patients with atrial fibrillation: impact of cardiac resynchronization therapy. *J Am Heart Assoc.* 2017; 6(12): e007270. doi: 10.1161/JAHA.117.007270
28. Farkowski M.M., Maciag A., Ciszewski J. et al. The long-term risk of lead failure in patients with cardiovascular implantable electronic devices undergoing catheter ablation. *Scand Cardiovasc J.* 2019; 53(6):323–328. doi: 10.1080/14017431.2019.1653489
29. Yarlagadda B., Turagam M. K., Dar T. et al. Safety and feasibility of leadless pacemaker in patients undergoing atrioventricular node ablation for atrial fibrillation. *Heart Rhythm.* 2018; 15(7): 994–1000. doi: 10.1016/j.hrthm.2018.02.025
30. Salerno F., Gomellini S., Caruso C. et al. Management of radiation therapy patients with cardiac defibrillator or pacemaker. *Radiol Med.* 2016;121(6): 515–20. doi: 10.1007/s11547-015-0616-z
31. Soejima T., Yoden E., Nishimura Y. et al. Radiation therapy in patients with implanted cardiac pacemakers and implantable cardioverter defibrillators: a prospective survey in Japan. *J Radiat Res.* 2011;52(4):516–521. doi: 10.1269/jrr.10143
32. Czermak T., Fichtner S. Cardiac implantable electronic devices: Electromagnetic interference from electrocauterization, lithotripsy and physiotherapy. *Herzschrittmacherther Elektrophysiol.* 2019; 30(2): 168–176. doi: 10.1007/s00399-019-0620-4
33. Catalan-Matamoros D., Lopez-Villegas A., Tore-Lappegard K. et al. Patients' experiences of remote communication after pacemaker implant: The *NORLAND* study. *PLoS One.* 2019; 14(6): e0218521. doi: 10.1371/journal.pone.0218521
34. Revishvili A. Sh., Lomidze N. N., Sungatov R. Sh. et al. Remote diagnosis and integration of medical data for improve efficiency of electrocardiotherapy. *Vestnik aritmologii.* 2016; 85: 5–18. Russian (Ревишвили А. Ш., Ломидзе Н. Н., Сунгатов Р. Ш. и др. Удаленная диагностика и интеграция медицинских данных для повышения эффективности электрокардиотерапии. *Вестник аритмологии.* 2016; 85: 5–18).
35. Comoretto R.I., Facchin D., Ghidina M. et al. Remote control improves quality of life in elderly pacemaker patients versus standard ambulatory-based follow-up. *J Eval Clin Pract.* 2017; 23(4): 681–689. doi: 10.1111/jep.12691
36. Abudan A.A., Isath A., Ryan J.D. et al. Safety and compatibility of smart device heart rhythm monitoring in patients with cardiovascular implantable electronic devices. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2019; 30(9): 1602–1609. doi: 10.1111/jce.14024
37. Digby G.C., Femenia F., Baranchuk A. Cardiac implantable devices and physiotherapy practices interaction: myth or real?. *Medicina.* 2011;1(2):174–178.
38. Badger J., Taylor P., Swain I. The safety of electrical stimulation in patients with pacemakers and implantable cardioverter defibrillators: A systematic review. *J Rehabil Assist Technol Eng.* 2017;4:1–9. doi: 10.1177/2055668317745498
39. Gruenwald W., Bhattacharrya M., Jansen D. et al. Electromagnetic analysis, characterization and discussion of inductive transmission parameters for titanium-based housing materials in active medical implantable devices. *Materials.* 2018;11(11): 2089–2116. doi: 10.3390/ma11112089
40. Tjong F.V., Reddy V.Y. Permanent leadless cardiac pacemaker therapy. *Circulation.* 2017;135(15):1458–1470. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.116.025037