

J. Misiri, F. Kusumoto, N. Goldschlager

# Влияние электромагнитных помех на работу имплантируемых сердечных устройств

## Электромагнитные помехи, генерируемые приборами медицинского назначения

**В лечебных учреждениях существует множество источников электромагнитных помех (ЭМП). В руководстве Аритмологического общества (HRS)/Американского общества анестезиологии (ASA), а также в ряде обзорных статей (G. Crossley et al., 2011; L. Cohan et al., 2008) представлены рекомендации по ведению пациентов с имплантируемыми сердечными устройствами (ИСУ) – искусственными водителями ритма (ИВР) и имплантируемыми кардиовертерами-дефибрилляторами (ИКД).**

Наиболее распространенными источниками ЭМП в лечебных учреждениях являются устройства, используемые в электрохирургии. Также врачу необходимо представлять последствия, к которым может привести взаимодействие между ИСУ и магнитно-резонансными томографами (МРТ), желудочковыми устройствами вспомогательного кровообращения (ЖУВК), наружными кардиовертерами, установками для проведения лучевой терапии.

### Электрохирургия

Для того чтобы разрезать или коагулировать ткани, в хирургической практике применяют плазменные дуги, генерируемые переменным током радиочастотного диапазона (100–5000 кГц). В большинстве случаев ток проходит между термокаутером и большим «возвратным» электродом, расположенным на коже (монополярная конфигурация). Однако иногда ток циркулирует в биполярной схеме, между двумя электродами, расположенными на кончике хирургического инструмента (L. Cohan et al., 2008). Поскольку поле ЭМП слишком мало, инструментарий для биполярной электрохирургии не взаимодействует с ИСУ и может применяться без каких-либо специальных мер предосторожности. В то же время инструменты, используемые для монополярной электрохирургии, относятся к категории приборов, ЭМП которых чаще всего воздействуют на ИСУ.

Как правило, взаимодействие между ИСУ и инструментами, применяемыми в электрохирургии, можно минимизировать, если придерживаться нескольких простых правил. При плановом вмешательстве самым важным является выработка в предоперационном периоде согласованного плана действий, учитывающего требования как анестезиолога, так и кардиохирурга, наблюдающего за пациентом с ИСУ. В специальном предоперационном обследовании такие больные не нуждаются. Риск взаимодействия ИСУ с электрохирургическим инструментарием определяется пациент/ИСУ-зависимыми факторами, а также факторами, связанными с самим хирургическим вмешательством. Например, вероятность влияния ЭМП снижается при увеличении расстояния между ИСУ и операционным полем. Так, вмешательства, осуществляемые ниже пупочной области, скорее всего не вызовут ЭМП, воспринимаемых ИСУ, если последнее расположено в обычной позиции (в верхней половине грудной клетки), а возвратный электрод инструмента – в нижней части тела (в области бедер или ягодиц). Согласно данным наиболее крупной на сегодняшний день серии наблюдений (A. Cheng et al., 2008), электрический инструмент влияет на функцию ИСУ лишь в том случае, если расстояние между ними не превышает 8 см. По предварительному сообщению R. Ноут и соавт. (2010), обследовавших 171 пациента

с ИСУ, ЭМП регистрировались в 9 из 22 хирургических вмешательств, осуществляемых выше пупочной области, и ни в одной из 53 операций, которые выполнялись ниже пупочной области. Нередко во время проведения вмешательства ИСУ подвергаются воздействию магнитного поля, которое, как правило, препятствует реализации антиаритмического действия данного устройства. Однако нельзя забывать, что из этого правила есть исключения, в частности иногда воздействие магнитного поля входит в число программируемых опций ИСУ. В недавно опубликованном руководстве (G. Crossley et al., 2011) отмечается, что для вмешательства, проходящих ниже пупочной области, воздействие магнитного поля на ИСУ либо перепрограммирование последнего нежелательно. Напротив, если вмешательство проходит выше пупочной области и вероятность влияния источника ЭМП возрастает, ИСУ следует перепрограммировать либо подвергнуть действию магнитного поля. Для ИВР, не обладающих функциями ИКД, выбор оптимальной опции часто зависит от того, имеется ли зависимость пациента от пейсмекера или нет. Так, у больных, которые от ИВР не зависят, перепрограммирование проводить не нужно. Если же такая зависимость существует и подавление импульса на выходе может привести к асистолии либо тяжелой брадикардии, следует выбрать режим асинхронии водителя ритма или прибегнуть к воздействию магнитного поля. Другим подходом, минимизирующим риск для пациента, служит применение биполярной электрохирургии. В случаях, когда требуется только монополярная электрохирургия, индифферентный электрод располагают так, чтобы ток, проходящий между ним и операционным полем, был как можно дальше от ИСУ. При этом используют клинически эффективный режим минимальной мощности. Во время проведения операции необходимо мониторировать артериальное давление, поскольку электрохирургический инструментарий часто вызывает электрические артефакты, из-за чего интерпретация электрокардиограммы, зарегистрированной посредством отведений с поверхности тела, становится невозможной.

По окончании вмешательства любые изменения, которые вносились в программу ИСУ перед операцией, должны быть устранены. Согласно результатам ретроспективного одноцентрового исследования (M. Rasmussen et al., 2002), неумышленная инактивация ИСУ наблюдалась у 4 пациентов, причем у 2 человек – в послеоперационном периоде. Изучение базы данных, содержащей сведения о пациентах с ИСУ и поддерживаемой FDA США, а также производителями этих устройств, показало (R. Hauser, L. Kallinen, 2004), что в 1996–2003 гг. умерли 212 таких больных. В 11 случаях причиной смерти служила инактивация ИСУ, при этом у 3 человек она произошла в послеоперационном периоде.

### Электрохирургический инструментарий и ИСУ – практические аспекты

- Монополярный электрохирургический инструментарий должен находиться на максимально удаленном расстоянии от ИСУ. Если вмешательство выполняется вблизи ИСУ, нужно рассмотреть возможность применения биполярного инструментария
- Мощность тока не должна превышать минимально достаточную для адекватной электрохирургии
- При использовании монополярного электрохирургического инструментария «возвратный» электрод нужно располагать в такой зоне, чтобы электрический ток проходил как можно дальше от ИСУ. Обычно наиболее оптимальной локализацией служит голень, контралатеральная сторона размещения ИСУ
- Если вмешательство выполняется ниже пупочной области, никаких специальных предосторожностей не требуется. Тем не менее в некоторых случаях (у пациентов, зависимых от пейсмекера) может возникнуть необходимость в перепрограммировании ИСУ либо воздействия на него магнитного поля
- Вмешательства, выполняемые выше пупочной области, чаще ассоциируются с возникновением ЭМП, вследствие чего обычно требуют перепрограммирования ИСУ либо воздействия на него магнитного поля (особенно у пациентов с ИКД либо у больных, зависимых от пейсмекера)
- Если наблюдается подавление сигнала на выходе, необходимо использовать электрохирургический инструментарий с короткими вспышками
- Больным с ИСУ следует проводить длительный плетизмографический мониторинг либо мониторировать артериальное давление
- По завершении вмешательства нужно устранить все программные изменения в ИСУ, сделанные в предоперационном периоде

### МРТ

Обладая по сравнению с другими методами визуализации рядом преимуществ, МРТ в то же время может негативно сказаться на функции ИСУ. Согласно расчетам R. Kalin и M. Stanton (2005) вероятность того, что после установки больному ИВР или ИКД у него возникнут клинические показания для проведения МРТ, составляет 50–75%. Следовательно, производители ИСУ заинтересованы в разработке устройств, «безопасно совместимых» с МРТ. Тем не менее все три составляющих МРТ как метода воздействия физических сил – статическое магнитное поле, быстро меняющиеся магнитные поля (100–200 Гц) и электромагнитные радиочастотные поля (60–79 мГц) – обладают

потенциальной способностью нарушать деятельность ИСУ.

Статическое магнитное поле воздействует на язычковое реле пейсмекера, вызывая тем самым эффект «магнитного теста», а это, в свою очередь, приводит к асинхронии водителя ритма с частотой, заданной производителем. Асинхрония водителя ритма обычно переносится хорошо. Гемодинамические осложнения и предсердные либо желудочковые нарушения ритма возникают лишь в редких случаях. Сердечные аритмии развиваются вследствие того, что импульс, генерируемый пейсмекером, попадает в уязвимый период предсердий и/или желудочков, что вызывает их внеочередные сокращения (A. Roguin et al., 2004; S. Nazarian et al., 2006; A. Roguin et al., 2005; D. Hayes et al., 1987). Рассуждая теоретически, статическое магнитное поле может вызвать достаточный вращающий момент в ИСУ. Однако, хотя иногда пациенты жалуются на чувство вибрации в грудной клетке, до сих пор не зафиксировано ни одного случая значительного смещения новых ИСУ, в которых содержание ферромагнитных материалов существенно меньше, чем в более старых моделях (A. Roguin et al., 2004).

Переменные магнитные поля и быстрые радиочастотные импульсы могут нарушить работу ИСУ, навязывая пейсмекеру свою частоту и тем самым учащая его деятельность (эффект радиочастотного воздействия на выходные контуры ИСУ) (D. Hayes et al., 1987). Другим потенциально возможным побочным эффектом служит термическое повреждение миокарда в зоне его контакта с нагретым электродом (D. Hayes et al., 1987; J. Zikria et al., 2011; C. Naehle et al., 2011; G. Pohost et al., 1992; W. Irnich et al., 2005). Особенно повышается температура удаленного электрода. Это объясняется резонансом, который происходит из-за сопоставимости длины стандартного электрода, с одной стороны, и МРТ-волн радиочастотного поля 1,5 Т (тесла) – с другой (D. Langman et al., 2011). Нагревание наконечника удаленного электрода уменьшается, когда он соединен с импульсным генератором. В последнем случае электрод можно настроить на размыкание электрической цепи, поскольку коннектор обычно размещают в пластиковом контейнере. У некоторых больных с ИВР, подвергавшихся МРТ в 1,5 Т, зарегистрировано существенное повышение порога захвата, что связывают с термическим повреждением тканей, расположенных вблизи от наконечника электрода ИВР (A. Roguin et al., 2004; S. Nazarian et al., 2006; A. Roguin et al., 2005). Выполнено три исследования, в которых за маркер кардиального повреждения, индуцированного МРТ, принимали высвобождение тропонина (E. Kanal et al., 2007; C. Naehle et al., 2008; T. Naehle et al., 2006). Объединение результатов этих работ показало, что избыточное повышение уровня тропонина, коррелирующее с увеличением порога пейсмекерного захвата, наблюдалось лишь у 1 из 206 обследованных пациентов. Следует, однако, иметь в виду, что больных, имеющих удаленные электроды, из исследований *in vivo*, как правило, исключают, вследствие чего действие МРТ на таких пациентов изучено крайне плохо.

К настоящему времени в литературе описано около 2 тыс. больных с ИСУ, которые подвергались МРТ и у которых не возникало клинически значимых нежелательных реакций. В наиболее крупное на сегодняшний день исследование S. Nazarian и соавт. (2011) вошли 438 пациентов с ИСУ (54% с ИВР, 46% с ИКД), которые в общей сложности получили 555 сеансов МРТ. Из исследования исключали как больных с недавно имплантированными (<6 нед) эпикардальными и удаленными электродами, так и пациентов, зависимых от пейсмекера.

Продолжение на стр. 20.

J. Misiri, F. Kusumoto, N. Goldschlager

## Влияние электромагнитных помех на работу имплантируемых сердечных устройств

Продолжение. Начало на стр. 19.

МРТ выполняли на 1,5Т-аппарате (мозг визуализировали в 40% случаев, позвоночный столб – в 22%, сердце – в 16%, органы брюшной полости или малого таза – в 13%, ткани конечностей – в 9%). В ходе МРТ три ИСУ стали функционировать в «безопасном режиме». Непосредственно во время обследования либо в течение последующих 6 мес наблюдали небольшое, клинически незначимое снижение амплитуды желудочкового сигнала и повышение порога захвата желудочков. Имеются отдельные сообщения о случаях смерти, связанной по времени с проведением МРТ у больных с ИСУ. Так, в одном обзоре (G. Pohost et al., 1992) описаны два случая смерти: в момент выполнения МРТ у одного пациента возникла асистолия, а у другого – фибрилляция желудочков. Согласно данным более представительного исследования, в котором изучалась потенциальная взаимосвязь между МРТ и летальными исходами в 30 медицинских учреждениях Германии, во время проведения МРТ умерли 6 больных с ИСУ. Примечательно, что во всех случаях показанием для кардиостимуляции служила дисфункция синусового узла, причем ни один из пациентов не был зависим от пейсмейкера. У 3 из 6 больных развилась фибрилляция желудочков. МРТ в 3 случаях была в 0,5 Т, в 2 – 1,5 Т и в 1 – 1,0 Т (W. Irnich et al.,

2005). Следует, однако, указать, что констатация смерти во время МРТ вовсе не свидетельствует о существовании причинной связи между летальным исходом и воздействием магнитных полей. На самом деле наличие у умерших пациентов ИСУ могло оказаться случайным совпадением.

Существуют три версии официальных рекомендаций по проведению МРТ у больных с ИСУ. Они принадлежат Американской ассоциации сердца (AHA), Европейскому обществу кардиологов (ESC) и Американскому колледжу радиологов (ACR). Несмотря на некоторые отличия, наблюдающиеся между этими рекомендациями, во всех из них подчеркивается, что решение о целесообразности выполнения МРТ должно быть основано на индивидуальных особенностях пациента. В частности, нужна тщательная оценка потенциальной пользы и возможного риска, сопряженного с применением этого метода исследования. Кроме того, в рекомендациях указывается на необходимость выполнения МРТ в специализированных центрах, в которых налажено тесное сотрудничество между кардиологической и радиологической службами. Рекомендации AHA и ESC более специфичны, поскольку принимают во внимание как тип ИСУ, так и наличие либо отсутствие зависимости больного от функции пейсмейкера (табл.).

Проблема взаимодействия между ИСУ и МРТ служит предметом интенсивных

исследований. Так, недавно опубликованы результаты многоцентрового клинического испытания (B. Wilkoff et al., 2011), в котором оценивали применение пейсмейкерной системы (пейсмейкер + электроды), разработанной специально для того, чтобы минимизировать риск влияния МРТ на ИСУ. Эту пейсмейкерную систему имплантировали 464 пациентам, которых затем рандомизировано распределяли в две группы. Больным одной группы выполняли МРТ (сканирование 1,5 Т головы и поясничного отдела позвоночника), пациентов же другой группы на протяжении 9-12 нед не подвергали МРТ. Спустя неделю и месяц от момента имплантации не существовало межгрупповых отличий ни по параметрам кардиостимуляции, ни по частоте осложнений, ассоциированных с МРТ. Основываясь на результатах данного исследования, FDA США одобрило применение этой пейсмейкерной системы. Нужно, однако, учитывать следующие моменты. Во-первых, дизайн работы не предусматривал проведения МРТ органов грудной клетки, поэтому в постмаркетинговую фазу следует выполнить крупное исследование, цель которого должна заключаться в регистрации редких побочных реакций. Во-вторых, указанные пейсмейкерные системы дороже стандартных устройств. Наконец (и это самое важное), хотя, по данным некоторых авторов (R. Kalin, M. Stanton, 2005), в проведении МРТ потенциально нуждается 50-75% больных с ИСУ, эта оценка, вероятно, существенно завышена, поскольку нередко для обследования можно использовать другие методы визуализации.

### Постоянные ЖУВК

Постоянные ЖУВК стали играть важную роль в лечении сердечной недостаточности. Их используют как «мост» на пути к трансплантации сердца или в качестве самостоятельной терапевтической опции (E. Rose et al., 2001; D. Goldstein et al., 1998). Опубликовано несколько сообщений о взаимодействии между ИСУ и ЖУВК.

В двух небольших ретроспективных исследованиях, которые включали больных, уже имевших ИСУ на момент установки ЖУВК, было показано, что последнее вызвало существенные и стойкие изменения функции пейсмейкера. В частности, отмечались уменьшение амплитуды воспринимаемой электрограммы желудочков, повышение порога захвата и снижение электродного импеданса. Причиной этого считали нарушения изоляции электродов во время хирургического вмешательства (A. Ambardekar et al., 2010; D. Foo et al., 2009). Поскольку указанные изменения наблюдались, как правило, только у пациентов с правожелудочковыми электродами, можно предположить, что нахождение катетера ЖУВК в области верхушки левого желудочка вызывает либо нарушения его геометрии, либо механическое повреждение электрода. По данным D. Foo и соавт. (2009), изменения характеристик электродов и выявляемое после имплантации ЖУВК повышение порога чувствительности к зубцу R обусловили потребность в ревизии электродов у 4 больных (13%) и в тестировании ИКД у 6 пациентов (20%).

В литературе описан один случай взаимодействия между ЖУВК и ИКД в виде дефибрилирующего разряда, спровоцированного шумом батарей ЖУВК (J. Matthews et al., 2007). Необычным влиянием ЖУВК на особую модель ИСУ (St. Jude Medical) является потеря последним телеметрической функции (M. Andersen et al., 2009; H. Oswald et al., 2009; M. Kuhne et al., 2010; A. Biviano et al., 2009; S. Jacob et al., 2010). Данную проблему порождают импульсные модуляторы, которые, изменяя напряжение на входе мотора ЖУВК, функционируют в частотном диапазоне 7,2 кГц и взаимодействуют с телеметрической системой ИКД, работающей на частоте 8 кГц. Некоторые больные для

восстановления связи между программистом и ИКД нуждаются в металлическом экранировании либо замене ИКД на устройство, функционирующее на иной частоте. В целом, несмотря на потенциальную опасность взаимодействия между ЖУВК и ИСУ, эти приборы, если придерживаться нескольких простых рекомендаций, функционировать одновременно могут.

### ЖУВК и ИСУ – практические аспекты

- Хирурги, имплантирующие ЖУВК типа HeartMate II, должны знать о том, что некоторые модели ИКД могут утратить функцию телеметрии
- Необходимо тестирование ИСУ до и непосредственно после имплантации ЖУВК
- В случае потери ИКД функции телеметрии может потребоваться металлическое экранирование либо имплантация ИКД другой марки

### Рентгенодиагностика и лучевая терапия

Рентгенологическая аппаратура, используемая в диагностических целях, как правило, не оказывает сколько-нибудь заметного эффекта на ИСУ. У пациентов с ИСУ, подвергавшихся многосрезовой компьютерной томографии, описаны преходящие эффекты, обусловленные феноменом сверхчувствительности (C. McCollough et al., 2007; S. Yamaji et al., 2006). Однако клиническое оформление эти эффекты получают редко.

Документировано 2 типа воздействия лучевой терапии на ИСУ (G. Crossley et al., 2011; L. Cohan et al., 2008; R. Adamec et al., 1982; T. Wadasadawala et al., 2011; K. Maxted, 1984; F. Rodriguez et al., 1991). Так, во-первых, ЭМП могут вызывать подавление импульса на выходе, формирование патологических проводящих путей, активацию противощумовой программы, а у пациентов с ИКД – импульсный разряд в отсутствие тахикардии (следствие феномена сверхчувствительности). Во-вторых, лучевой терапии свойственны и специфические побочные эффекты, связанные с прямым воздействием на ИСУ и обуславливающие временные либо постоянные нарушения его функции. В современных программируемых устройствах самое широкое распространение получили комплементарные металл-оксидные полупроводники. Из-за этого ИСУ стали более чувствительны к воздействию ионизирующего излучения, которое повреждает силиконовую и силиконо-оксидную изоляцию полупроводников. Влияние радиации на ИСУ является кумулятивным и зависит от ее типа, а также топики и вида ИСУ. К какой именно несправности ИСУ приведет ионизирующее излучение, предсказать невозможно. Отчасти это связано с тем, что локализация повреждения электрической схемы ИСУ носит случайный характер. Доза, которая приводит к нарушению работы ИСУ, крайне вариабельна. Так, по данным F. Rodriguez и соавт. (1991), обследовавших 11 пациентов, даже для одного и того же ИСУ эта доза колеблется в пределах от 0,5 до 200 Гр. Недавно описано 8 больных с пейсмейкерами, которым облучали область шеи и грудной клетки. При этом ни во время курсового лечения, ни на протяжении последующего 5-месячного наблюдения каких-либо отрицательных реакций зарегистрировано не было (C. Hurkmans et al., 2005). D. Thomas и соавт. (2004) описали случай перехода в «безопасный режим» ИКД, который был расположен за пределами облучаемых полей.

Производители ИСУ разработали рекомендации для больных, подвергающихся лучевой терапии. Никто из крупных производителей не советует проводить облучение, если ИСУ находится в поле действия. Максимальная доза радиации, к которой генератор ИСУ может быть толерантен, зависит от производителя.

Таблица. Синописис различных рекомендаций по применению МРТ у больных с ИСУ

Рекомендуемый аспект	Рекомендации		
	AHA	ESC	ACR
Отбор больных	Не проводить пациентам, зависимым от пейсмейкера, и больным с ИКД за исключением случаев «крайней необходимости». Не рекомендовать пациентам, не зависящим от пейсмейкера, за исключением случаев «абсолютных клинических показаний»	Пациенты, зависимые от пейсмейкера (очень высокий риск); пациенты с ИКД (высокий риск); пациенты, не зависящие от пейсмейкера (низкий риск)	Наличие ИСУ – относительное противопоказание для проведения МРТ, которое можно выполнять лишь с учетом всех индивидуальных особенностей
Особенности МРТ	Самая низкая мощность, наиболее слабое/медленное градиентное магнитное поле	Сила поля <1,5 Т. Лимит SAR – отсутствие SAR >2 W/кг. Минимизировать количество/длину комбинаций. Переключающиеся катушки предпочтительнее поверхностных	Не указаны
Оценка ИСУ перед проведением МРТ	Тестирование ИСУ. Программирование на асинхронный режим у пациентов, зависимых от пейсмейкера. Отключение у больных с ИКД режима, купирующего тахикардию	Тестирование ИСУ. Программирование на асинхронный режим у пациентов, зависимых от пейсмейкера. Отключение режима, купирующего тахикардию, у больных с ИКД. Программирование на биполярную детекцию. Отключение специальных программ (например, частотной адаптации)	Специфические рекомендации отсутствуют
Условия выполнения МРТ	Мониторинг основных физиологических параметров, в том числе сердечного ритма. Вербальный и визуальный контакт с пациентом. Наличие каталки. Наличие специально обученного персонала	Электрокардиография, пульсоксиметрия. Вербальный и визуальный контакт с пациентом. Наличие каталки. Наличие персонала, имеющего сертификат по оказанию реанимационного пособия. Наличие программиста, специализирующегося на ИСУ	Электрокардиография, пульсоксиметрия. Наличие каталки. Наличие рентгенолога и кардиолога
Оценка ИСУ после проведения МРТ	Тестирование ИСУ и настройка его исходных параметров у всех пациентов, зависимых от пейсмейкера либо имеющих ИКД. У больных, не зависящих от пейсмейкера, настройка исходных параметров (в случае необходимости)	Повторное тестирование ИСУ и настройка его исходных параметров (если необходимо). Впоследствии тестирование ИСУ через неделю и месяц	Повторное тестирование ИСУ. Впоследствии тестирование ИСУ через 1-6 нед

Примечание: SAR – специфическая абсорбционная частота.

Так, St. Jude Medical рекомендует дозу в 20-30 Гр для пейсмейкеров и не указывает никакой дозы для ИКД; Medtronic приводит дозы, равные 5 и 1-5 Гр соответственно; Boston Scientific утверждает, что для ИСУ не существует безопасных доз радиации; Biotronik устанавливает 10 Гр как максимальную дозу для ИВР и не дает рекомендаций относительно ИКД. Профессиональные общества издали несколько руководств. Почти 20 лет назад Американская ассоциация медицинских физиков опубликовала рекомендации по проведению лучевой терапии у больных с пейсмейкерами. В этом документе подчеркивалась необходимость того, чтобы пейсмейкеры не попадали в поле облучения, а максимальная доза устанавливалась на уровне 2 Гр. Позже HRS/ASA (G. Crossley et al., 2011) обнародовали экспертный консенсус, согласно которому нужно выделять больных, относящихся к группе высокого риска и подвергающихся прямому облучению грудной клетки либо высокоэнергетической фотонной радиотерапии. У этих пациентов в течение 24 ч после каждого сеанса лечения следует производить оценку функции ИСУ. У больных из группы низкого риска (например, в случае отсутствия зависимости от пейсмейкера) тестирование ИСУ выполняют реже, 1 раз в неделю. С этой целью можно воспользоваться дистанционным мониторингом, если такая опция доступна. В документе HRS/ASA рекомендуется программировать ИСУ на работу в режиме относительно высокой частоты, превышающей собственную частоту сердечного ритма (ЧСР) больного. Кроме того, подчеркивается, что персонал радиологического отделения должен после каждого сеанса терапии измерять у пациента ЧСР. Если ЧСР окажется ниже запрограммированного уровня, ИСУ следует подвергнуть процедуре рутинного тестирования, поскольку не исключена возможность перехода прибора в «безопасный режим» (как правило, при ЧСР <80 в минуту).

В любом случае для того, чтобы разработать индивидуально подобранную, эффективную и безопасную терапию, между кардиохирургом, который ведет пациента с ИСУ, и персоналом радиологического отделения должно установиться тесное сотрудничество.

#### Лучевая терапия и ИСУ – практические аспекты

- Следует избегать прямого облучения ИСУ
- Если ИСУ находится в зоне, которая должна быть подвергнута облучению, локализацию прибора нужно изменить
- Ориентируясь на данные производителя, необходимо оценить чувствительность ИСУ к неблагоприятным эффектам ионизирующей радиации
- Нужно определить, является ли пациент зависимым от пейсмейкера
- Если это возможно, генератор импульсов следует экранировать
- Суммарная доза ионизирующей радиации, которой подвергнется ИСУ, должна быть рассчитана до начала терапии
- Необходимо проводить длительный электрокардиографический мониторинг
- До начала лучевой терапии и после ее завершения функцию ИСУ целесообразно тестировать

#### Кардиоверсия

Наружная прямая кардиоверсия или дефибрилляция может нарушать функцию ИСУ. Во всех постоянных электрокардиостимуляторах и ИКД используется специальная схема, состоящая из нескольких опорных диодов, которые, шунтируя избыток электроэнергии, защищают ИСУ от

высокого напряжения. При этом, однако, на зону контакта между электродом и миокардом поступает ток достаточной силы для того, чтобы изменить стимулирующую либо воспринимающую функции устройства. Проведение электрической кардиоверсии или дефибрилляции может неблагоприятно сказаться на работе пейсмейкера. В частности, происходит активация функции аппаратного резервирования, заложённая в ИСУ производителем; изменяется режим кардиостимуляции (в некоторых старых моделях монополярных пейсмейкеров); повышается порог стимуляции миокарда (S. Barold et al., 1978; P. Levine et al., 1983; G. Altamura et al., 1995; G. Das, D. Staffanson, 1997). Повышение порога захвата желудочков может быть преходящим, т.е. после внезапной утери этой функции впоследствии она полностью восстанавливается. Тем не менее в редких случаях повышение порога является перманентным (G. Das, D. Staffanson, 1997). По данным одного старого исследования (G. Altamura et al., 1995), в котором изучали передне-апикальную электрокардиостимуляцию, проводившуюся монополярным электродом, преходящее (от 5 с до 30 мин) исчезновение захвата наблюдалось у 50% больных. Однако кардиоверсия не приводит к сколько-нибудь существенным побочным эффектам, если используются биполярные электроды, которые устанавливают в переднезадней позиции так, чтобы контактные площадки находились как можно дальше от ИСУ (>8 см) (C. Waller et al., 2004). В рандомизированном контролируемом исследовании, включившем 44 пациента с пейсмейкерами, которые заранее не программировались, было показано, что спустя 1 ч и 1 нед после кардиоверсии нарушения функции устройства либо его электродов отсутствуют. В целом, если придерживаться ряда рекомендаций, снижающих риск нежелательных эффектов кардиоверсии/дефибрилляции, эти процедуры для больных с ИСУ опасности не представляют.

#### Кардиоверсия и ИСУ – практические аспекты

- Необходимо использовать переднезаднюю позицию, при которой электроды располагают как можно дальше от ИСУ (>8 см)
- После проведения кардиоверсии функцию ИСУ следует тестировать

#### Воздействие прочих медицинских устройств, чрескожной электрической стимуляции нервов, радиочастотной абляции, литотрипсии, электросудорожной терапии

Описаны случаи воздействия различного медицинского оборудования, в частности стоматологического, на ИСУ (как правило, старых моделей с монополярными электродами) (L. Cohan et al., 2008). В более поздних публикациях сообщалось о влиянии стоматологического оборудования преимущественно на те ИСУ, которые обладали функцией электрокардиографической телеметрии. Хотя считается, что использование приборов для капсульной эндоскопии у пациентов с ИСУ требует особых мер предосторожности, на самом деле результаты клинических исследований обоснованности таких опасений не подтверждают (A. Cheng et al., 2008; D. Vanderski et al., 2011). Известны единичные случаи взаимодействия между пейсмейкером, использующим для выбора оптимальной ЧСР показатель минутной вентиляции, и некоторыми телеметрическими мониторами, отслеживающими по динамике импеданса частоту дыхания (S. Houtman et al., 2006; P. Southorn et al., 2000). Данное взаимодействие сводится к появлению в

электрокардиографических электродах высокочастотных токов очень малой амплитуды.

Чрескожная электрическая стимуляция нервов (ЧЭСН) относится к числу лечебных подходов, часто используемых для купирования острой и хронической боли скелетно-мышечного происхождения. Взаимодействуя с ИСУ, ЧЭСН вызывает подавление импульса на выходе, реверсию пейсмейкера к шумовому режиму, провоцирует образование в ИКД импульсного разряда (G. Crossley et al., 2011; L. Cohan et al., 2008; D. Philbin et al., 1998; M. Rasmussen et al., 1988; J. Pyatt et al., 2003; C. Holmgren et al., 2008). Тем не менее у многих, если не у большинства, больных применение ЧЭСН совершенно безопасно. Так, по данным J. Pyatt и соавт. (2003), обследовавших 51 пациента с 20 различными моделями пейсмейкеров, интерференция, подавление импульса на выходе или перепрограммирование у этих больных отсутствовали. У пейсмейкерзависимых пациентов ЧЭСН нужно использовать крайне осторожно и лишь в тех случаях, когда проблема улучшения качества жизни встает с особой остротой. Обязательным условием терапии является «стартовое» тестирование ИСУ, подтверждающее безопасность назначения ЧЭСН. Кроме того, ИСУ следует тестировать и на последующих этапах, поскольку согласно результатам исследования С. Holmgren и соавт. (2008) ЧЭСН у ряда больных подавляла кардиостимуляцию, несмотря на то что проводившаяся за 6 мес до того «стартовая» проверка не выявила каких-либо взаимодействий между этими приборами.

#### ЧЭСН и ИСУ – практические аспекты

- Перед назначением ЧЭСН необходимо оценить вероятность ее влияния на ИСУ и возможные последствия такого взаимодействия для пациента. В частности, следует обратить внимание на анатомическую область проведения ЧЭСН, наличие зависимости больного от пейсмейкера, тип ИСУ (ИКД или ИВР)
- Для того чтобы выяснить, взаимодействует ли ЧЭСН с ИСУ, последнее нуждается в «стартовом» тестировании
- Рекомендуется установка биполярных моделей пейсмейкера
- Нужно отключать импедансные сенсоры (типа активируемых минутной вентиляцией)
- Электроды ЧЭСН необходимо располагать как можно ближе друг к другу и в то же время перпендикулярно по отношению к электродам ИСУ
- Следует по возможности избегать проведения ЧЭСН в области грудной клетки. Как правило, ЧЭСН безопасна, если выполняется на нижних конечностях

время возникает редко), подавление импульса на выходе, преходящее исчезновение захвата желудочков (G. Crossley et al., 2011; L. Cohan et al., 2008). Более новые модели пейсмейкеров, которые оснащены защитой от ЭМП, к неблагоприятному влиянию радиочастотной абляции нечувствительны. Это было показано в исследовании, включившем 86 больных с ИСУ, которые в связи с фибрилляцией предсердий подвергались радиочастотной абляции (D. Lakkireddy et al., 2005). Однако у 2 пациентов с недавно (<6 мес) имплантированными предсердными электродами было констатировано их смещение.

Литотрипсия – высокоэффективный метод лечения, применяемый у пациентов с мочекаменной болезнью. Ранее считалось, что наличие пейсмейкера является абсолютным противопоказанием для выполнения литотрипсии. Помимо этого, в старых моделях генераторы ИКД располагали на животе, т.е. в относительной близости от зоны воздействия пучка энергии, образуемой литотриптором. Современные модели ИСУ имплантируют в области грудной клетки, в них используются специальные проходные фильтры, а литотрипторы, в свою очередь, не требуют гидроиммерсии и обеспечивают более точную, фокусную, направленность пучка энергии. Благодаря этому вероятность взаимодействия между ИСУ и литотриптором ничтожно мала и составляет <1% даже в отсутствие мер предосторожности (G. Crossley et al., 2011; M. Platonov et al., 2008).

Электросудорожную терапию (ЭСТ) используют у больных с депрессией. В литературе приведено описание около 60 пациентов с ИСУ, которым проводили ЭСТ, не ассоциировавшуюся с неблагоприятными последствиями (N. Kokras et al., 2011). Как правило, у таких больных пейсмейкеры не нуждаются в специальном перепрограммировании. При наличии ИКД представляется целесообразным на время ЭСТ отключать опцию купирования тахикардии. В то же время до сих пор не было проведено ни одного рандомизированного исследования, результаты которого подтверждали бы эту рекомендацию. В экспертном консенсусе HRS/ASA (G. Crossley et al., 2011) подчеркивается, что у пациентов с ИСУ риск, связанный с проведением ЭСТ, низок.

#### Радиочастотная абляция, литотрипсия, ЭСТ и ИСУ – практические аспекты

- Как правило, не требуется специального перепрограммирования ИСУ
- Рекомендуется выполнение «магнитного теста»
- Желательно проведение электрокардиографического мониторинга, особенно у больных, зависимых от пейсмейкера

#### Заключение

В последнее десятилетие наблюдается значительный рост числа пациентов с ИСУ. В то же время существенно увеличилось количество источников ЭМП. К счастью, производители ИСУ разработали специальные противощумовые программы, а материалы, из которых изготавливают имплантируемые аппараты, стали обладать менее выраженными ферромагнитными свойствами. Тем не менее остается риск взаимодействия между ИСУ и источниками ЭМП, в частности медицинского назначения (электрохирургический инструментарий, дефибрилляторы, МРТ). Крайне важно, чтобы все кардиологи овладели приемами, снижающими риск неблагоприятного воздействия источников ЭМП на больных с ИСУ.