

J. Misiri, F. Kusumoto, N. Goldschlager, клиника Mayo, США

Влияние электромагнитных помех на работу имплантируемых сердечных устройств

Часть 1. Электромагнитные помехи, генерируемые источниками немедицинского назначения

Имплантируемые сердечные устройства (ИСУ) — искусственные водители ритма (ИВР) и имплантируемые кардиовертеры-дефибрилляторы (ИКД) — получили самое широкое распространение. Так, в США с 1993 по 2008 год было имплантировано около 3 млн ИВР и 1 млн ИКД, причем ежегодный прирост вновь установленных устройств составляет почти 5% (A. Greenspon et al., 2011). В 2009 г. в мире имплантировано >1 млн ИВР и 300 тыс. ИКД (H. Mond, A. Proclemer, 2011). В то же время с каждым годом значительно увеличивается количество приборов, генерирующих электромагнитные волны. Как следствие, возникла проблема влияния электромагнитных помех (ЭМП) на работу ИСУ. Конечно, современные ИСУ обладают защитой от ЭМП. К средствам защиты, в частности, относятся наружная оболочка из титана; специальные схемы для фильтрации электромагнитных волн, которые генерируются источниками, работающими на наиболее используемых частотах; программы, различающие шумы и истинные внутрисердечные сигналы. Помимо того, большинство врачей, устанавливая ИСУ, применяют не одно-, а двухполюсные отведения, что позволяет минимизировать эффект «антенны». Несмотря на это воздействие ЭМП может вывести ИСУ из строя. Следовательно, врачи, наблюдающие за такими пациентами, должны знать о потенциальных источниках ЭМП, а также уметь оказывать адекватную помощь при отказе работы ИСУ.

Источники ЭМП можно классифицировать в зависимости от типа и частоты генерируемых волн, однако с практической точки зрения целесообразно воспользоваться делением этих источников по их назначению — на медицинские и немедицинские.

Изменение работы ИСУ под влиянием ЭМП

Важно отметить, что эффекты ЭМП определяются характером взаимодействия между ЭМП и ИСУ, типом ИСУ, а также клиническими особенностями больного (табл. 1).

Все ИСУ обладают специальными шумовоспринимающими программами, минимизирующими способность ЭМП приводить к отказу ИВР и провоцировать асистолию. В большинстве моделей ИСУ как шум распознаются те сигналы, которые прибор воспринимает в период отсутствия электрической активности желудочков. Иными словами, если в этот промежуток времени ИСУ улавливает какой-либо электрический сигнал, он автоматически расценивает его как шум. Детекция ЭМП, как правило, вызывает асинхронно водителя ритма. Теоретически этот феномен может обусловить жизненно опасную аритмию сердца, возникающую из-за желудочковых импульсов, генерируемых в уязвимый период (R на T). Однако на практике подобные аритмии встречаются крайне редко. Программа, защищающая работу ИСУ от внешних шумов, обычно реагирует на непрерывные ЭМП, тогда как под действием прерывистых помех активация этой программы происходит далеко не всегда. В таком случае ЭМП, воздействуя через желудочковый канал, имитируют внутреннюю активность желудочков (феномен сверхчувствительности), что приводит к подавлению искусственного ритма (у пациента, зависимого от работы ИСУ, это чревато асистолией). Если установлен ИКД, сверхчувствительность в желудочковом канале может обусловить ложное распознавание желудочковой тахикардии, требующей коррекции — кардиостимуляции либо дефибрилляции. Последствия сверхчувствительности в предсердном канале двухкамерного ИВР или ИКД различны и зависят от того, на какой ответ запрограммировано ИСУ. Так, если ИВР в ответ на сигнал, регистрируемый в предсердии, должен подавить свою активность (режимы AAI и DDD), отмечается ингибирование предсердного ритма. Если ответом на данный сигнал должна быть предсердно-желудочковая задержка (режимы DDD, VDD и VAT), то, возникнув повторно, этот эффект приведет к формированию ускоренного желудочкового ритма. При наличии в ИСУ возможности переключения режима произойдет его смена. В частности, режим

отслеживания предсердной активности (DDD) будет заменен на режим, подавляющий ритм при появлении любого сигнала (VVI и DDI). Под воздействием большого количества ЭМП устройство переходит в базисный режим power-on reset — своеобразный аналог безопасного режима Windows. Наконец, сильное электромагнитное поле вызывает в ИСУ магнитную индукцию, выраженность которой в разных приборах различна, хотя и может быть заранее запрограммирована. Как правило, индукция обуславливает асинхронно ИВР либо неспособность ИКД купировать тахикардию.

Для профилактики неблагоприятных эффектов ЭМП используют два подхода. Один из них сводится к ограничению экспозиции ЭМП за счет либо удаления пациента с ИСУ от источника ЭМП, либо уменьшения времени взаимодействия между ЭМП и ИСУ. Этот подход наиболее предпочтителен, особенно если источником ЭМП являются устройства немедицинского назначения. Второй подход состоит в борьбе с эффектами ЭМП (например, применение магнита либо репрограммирование ИКД, нивелирующее его антиаритмическую активность).

Устройства немедицинского назначения как источники ЭМП

Обычная бытовая техника (микроволновая печь, телевизор) не влияет на функционирование ИСУ (L. Cohan et al., 2008). В то же время промышленное оборудование, например дуговой сварочный аппарат, такое влияние оказывает, хотя пациенты, имеющие ИСУ, при соблюдении мер предосторожности работать с ним могут. Больные часто просят врача рассказать о характере взаимодействия ИСУ с мобильными телефонами и электронными системами сигнализации (домотроновые металлодетекторы, антикражные бирки (АКБ) на товарах) (табл. 2).

Мобильные телефоны

Еще в середине 1990-х гг. были описаны следующие эффекты электромагнитных волн, генерируемых мобильным телефоном: снижение выходной мощности ИСУ (из-за феномена сверхчувствительности); шумовая реверсия и асинхрония водителя ритма; нежелательное желудочковое проведение импульсов, воспринимаемых предсердным электродом (W. Imrich et al., 1996; V. Barbaro et al., 1996). Вероятность взаимодействия наиболее высока при расположении мобильного телефона

непосредственно над ИВР. Напротив, если телефон находится около уха пациента, риск его влияния на работу ИСУ минимален и какой-либо клинической значимости не имеет (D. Hayes et al., 1997). На первых этапах массового использования мобильной связи риск неблагоприятного воздействия ЭМП на ИСУ был выше в Европе, где изначально применяли цифровую технологию GSM (частоты 900, 1800 и 2100 МГц). Действительно, в отличие от аналоговых сигналов (США: частота 800 МГц) цифровые характеризуются непрерывностью импульсации и более высокой мощностью (W. Imrich et al., 1996). Однако по мере распространения мобильных телефонов и почти повсеместного перехода на технологию GSM (в настоящее время ее используют свыше 80% операторов мобильной связи) производители ИСУ стали разрабатывать специальные фильтры. Их цель состоит в минимизации действия мобильных телефонов на работу ИСУ. Это достигается благодаря фильтрации частот, применяемых в мобильной связи, на уровне сквозного электрического соединения хидера со схемой генератора импульсов (E. Occhetta et al., 1999; I. Tandogan et al., 2005; G. Calcagnini et al., 2006). Так, в исследовании I. Tandogan и соавт. (2006), включившем 679 больных, влияние мобильного телефона на ИВР регистрировали лишь у 0,3% пациентов, у которых в электрокардиостимуляторе использовались двухполюсные электроды, а само устройство обладало номинальной чувствительностью. При этом какие-либо клинические проявления отсутствовали. В то же время предельно возможный уровень чувствительности увеличивал частоту нежелательных эффектов мобильного телефона до 1,1% (например, в виде феномена сверхчувствительности — преходящего снижения выходной мощности). Если же ИВР программировали на однополюсную детекцию, частота нежелательных эффектов возрастала до 1,4–4,1% (в зависимости от выбранного уровня чувствительности). Важно подчеркнуть, что указанные взаимодействия наблюдались только тогда, когда мобильный телефон звонил, причем расстояние между ним и ИВР было меньше 10 см. Наиболее распространенным следствием ЭМП, вызванных телефоном, оказалась активация шумовоспринимающих программ с последующей асинхронией кардиостимулятора —

Продолжение на стр. 65.

Клиническая ситуация		Эффекты ЭМП
Тип ИСУ	ИВР – желудочковый канал	Асинхрония водителя ритма вследствие активации шумовоспринимающих программ. Безопасный режим (стимуляция при короткой предсердно-желудочковой задержке). Подавление желудочковой стимуляции. Эффект «магнитного теста»
	ИВР – предсердный канал	Асинхрония водителя ритма. Подавление предсердной стимуляции. Переключение режима. Эффект «магнитного теста»
	ИКД	Неадекватная коррекция тахикардии. Эффект «магнитного теста»
Особенности пациента	Имеется зависимость от работы ИСУ	Нарушение работы ИВР может вызвать замедление ритма с возникновением головокружения, обморока и пр. Формирование патологических проводящих путей становится причиной повышения частоты стимуляции и учащения сердечного ритма. ИКД может корректировать тахикардию неадекватно, например, при не показанной в таком случае кардиостимуляции или дефибрилляции
	Зависимость от работы ИСУ отсутствует	Нарушение работы ИВР, как правило, не вызывает какой-либо симптоматики. Формирование патологических проводящих путей приводит к повышению частоты стимуляции и учащению сердечного ритма. Асинхрония водителя ритма способствует возникновению сердечных аритмий, а в отдельных случаях провоцирует сердечные аритмии. ИКД может корректировать тахикардию неадекватно, например, при не показанной в этом случае кардиостимуляции или дефибрилляции

Источник ЭМП	Влияние на ИСУ
Мобильный телефон	Вероятно, отсутствует
Домотроновые металлодетекторы	Детекция ЭМП
АКБ на товарах	Детекция ЭМП
Тазер*	Индукция частого ритма (шунтирование электрической активности). Детекция ЭМП
Магниты (динамики, наушники, ювелирные клипсы)	Эффект «магнитного теста»
iPod	Взаимодействие с системами записи электрокардиограммы
Прочие (микроволновые устройства)	Отсутствует

* Тазер – полицейское оружие, внешне напоминающее электрический фонарик. С расстояния до 5 м в тело преследуемого выпускаются две стрелки с зарядом в 1500 В, которые временно парализуют человека, не вызывая отдаленных последствий. Слово «тазер» происходит от сокращенного названия детской приключенческой книжки «Tom Swift and his Electric Rifle».

J. Misiri, F. Kusumoto, N. Goldschlager, клиника Mayo, США

Влияние электромагнитных помех на работу имплантируемых сердечных устройств

Часть 1. Электромагнитные помехи, генерируемые источниками немедицинского назначения

Продолжение. Начало на стр. 61.

фиксированным ритмом (n=33). Реже наблюдались сверхчувствительность (n=3) и неадекватное проведение импульса (n=1). К влиянию мобильного телефона были более чувствительны ИСУ с желудочковым электродом. Однако причиной этого, вероятно, служила не особая уязвимость таких устройств, а дизайн исследования, в котором преимущественно входили больные, у которых ИВР обладал желудочковым электродом. Те же авторы (I. Tandogan et al., 2005), используя аналогичный протокол, показали, что мобильные телефоны, даже если они соприкасаются с участком кожи непосредственно над местом установки ИКД, не влияют на его работу. Напротив, E. Occhetta и соавт. (1999) продемонстрировали возможность действия на ИКД мобильного телефона, располагающегося поблизости.

Мобильный телефон и ИСУ – практические аспекты

- Во время разговора по мобильному телефону его следует держать у уха на противоположной стороне от места установки ИСУ
- Мобильный телефон нужно держать на максимально возможном удалении от ИСУ. В любом случае не рекомендуется носить мобильный телефон в нагрудном кармане возле ИСУ

Досмотровые металлодетекторы в аэропорту

Для досмотра в аэропорту применяют стационарные и ручные металлодетекторы, воспринимающие электромагнитные возмущения. Стационарные металлодетекторы («ворота безопасности») функционируют в непрерывно-волновом (5–10 кГц) или импульсном (200–400 кГц) режимах, создавая электромагнитные поля большей, чем у ручных металлодетекторов (непрерывно-волновой режим 80–130 кГц), мощности (W. Voivin et al., 2003). Эффекты ЭМП, источником которых служат досмотровые устройства в аэропорту, стали изучаться лишь в последние десять лет. В единственном исследовании, выполненном в конце 1980-х гг. (Y. Sorreman et al., 1988), не удалось показать, что у пациентов, проходящих через металлодетекторные «ворота» в аэропорту, происходят какие-либо изменения в работе ИВР, хотя последние программировались на более высокий уровень чувствительности. При этом, хотя и регистрировалось подавление выходящих импульсов ИСУ, из-за кратковременности действия ЭМП активация шумовоспринимающих программ и последующая асинхрония водителя ритма не наблюдались. Сходные результаты получены в работе, оценивавшей влияние на функцию ИСУ электромагнитного поля, генерируемого «воротами безопасности» в аэропорту. Это исследование включило 348 больных, у которых были установлены как ИВР (n=200), так и ИКД (n=148). Взаимодействие между ИСУ и ЭМП не было выявлено ни у одного пациента (C. Kolb et al., 2003).

В работе C. Jilek и соавт. (2011) изучалось влияние на ИВР (n=209) и ИКД (n=179) двух широко используемых ручных металлодетекторов, запрограммированных на режим максимальной чувствительности (максимальной плотности потока электромагнитного излучения). Металлодетектор располагали непосредственно

над верхушкой сердца и ИСУ. Длительность экспозиции составляла 30 с и более, что значительно превышало стандартное время досмотра. Каких-либо дисфункций ИСУ (нарушений восприятия импульса/кардиостимуляции, спонтанного перепрограммирования устройства) зарегистрировано не было.

Таким образом, «ворота безопасности» в аэропорту и ручные металлодетекторы, реагируя на металлические детали ИСУ, тем не менее не вызывают поломку ИВР или ИКД.

Досмотровые металлодетекторы в аэропорту и ИСУ – практические аспекты

- Пациентам с ИСУ желательно предупредить службу безопасности о наличии у них ИВР или ИКД (совет Администрации по контролю безопасности перевозок)
- Представитель службы безопасности, досматривающий пациента с ИСУ, должен убедиться, что сигнал металлодетектора действительно связан с имплантируемым устройством, а не с каким-либо иным предметом. Такие лица чаще всего подвергаются ручному досмотру

АКБ

Электронные антикражные системы получили распространение в магазинах розничной торговли и общественных местах. Эти устройства состоят из двух частей – передатчика и радиоприемника. Передатчик излучает электромагнитные волны, действующие на АКБ, прикрепленную к объекту (например, товару). В свою очередь АКБ посылает обратный импульс, который распознается радиоприемником, вызывая сигнал тревоги. К настоящему времени описаны лишь единичные случаи нежелательных эффектов (индукция антикражными системами, установленными в магазине, электрического разряда в ИКД) (M. McIvor et al., 1998; P. Santucci et al., 1998). Подобный эффект, скорее всего, возникает лишь при длительном влиянии ЭМП (J. Gimbel, J. Cox, 2007). В работе W. Groh и соавт. (1999), обследовавших 170 пациентов с ИКД, изучалось действие электронных антикражных систем трех различных видов. Было показано, что если обследуемый находился в «воротах» стационарной системы в течение 10–15 с, то воздействие на ИКД отсутствовало. «Ворота» нарушали работу ИКД лишь в том случае, если располагались на расстоянии 15 см и менее от него, а воздействие их ЭМП было достаточно длительным (2 мин). В одноцентровом исследовании M. McIvor и соавт. (1998) также изучалось влияние на ИВР (n=50) и ИКД (n=25) трех разных видов электронных антикражных систем. Акустико-магнитные системы безопасности, использующие для обнаружения АКБ переменное электромагнитное поле низкой частоты, взаимодействовали с 48 из 50 ИВР. Это проявлялось асинхронией водителя ритма (основной тип взаимодействия), предсердной сверхчувствительностью с быстрым желудочковым ритмом, желудочковой сверхчувствительностью с подавлением пейсмекерной активности, ритмом пейсмекера (следствие эффекта прямой индукции). У ряда больных указанные взаимодействия сопровождались определенной синхронизацией (сердцебиением, предобморочным состоянием), но лишь до тех пор, пока пациенты находились в пределах электромагнитного поля.

Взаимодействия возникали чаще, если обследуемые прислонялись к основанию передатчика или влияние ЭМП было на 5 мин больше. Авторы исследования не зарегистрировали ни одного взаимодействия между ИКД и какой-либо из систем безопасности. В ретроспективном наблюдательном исследовании E. Occhetta и соавт. (2006), охватившем 336 пациентов, установлено, что на протяжении 16-летнего периода нарушений работы ИКД, индуцированных ЭМП, не было.

Электронные антикражные системы и ИСУ – практические аспекты

- Пациенты с ИСУ должны знать о потенциально возможном влиянии электронных антикражных систем на работу ИВР или ИКД
- Пациентам с ИСУ, находящимся в торговых залах и общественных местах, не следует задерживаться в проеме «ворот» антикражных систем, так же как и пребывать длительное время неподалеку от них

Цифровые музыкальные плееры и наушники

Цифровые музыкальные плееры могут вызвать нарушения работы тех телеметрических систем, в которых роль передатчика играет ИВР. В то же время непосредственного влияния на ИСУ плееры, вероятно, не оказывают (C. Chi et al., 2009; G. Webster et al., 2008; J. Thaker et al., 2009). В исследовании C. Chi и соавт. (2009), включившем 67 больных с ИВР, помехи телеметрии наблюдали в 16% случаев, хотя сколько-нибудь значимых нарушений в работе ИСУ, даже если плеер находился непосредственно над ним, зарегистрировано не было. В аналогичной работе J. Thaker и соавт. (2009) приняли участие 54 пациента, которые подверглись 162 тестированиям. На больных с ИСУ (с телеметрической антенной и без таковой) в случайном порядке по 1 мин воздействовали тремя различными видами iPod, устройством для 3G мобильной связи, фотоаппаратом и сенсорным гаджетом. Показательно, что если ИСУ работало в режиме телеметрии, то помехи регистрировали в 36,4% случаев. Если же данный режим отключали, помехи отсутствовали.

В портативных наушниках, напротив, используют нехимический элемент, который, являясь мощным магнитом, генерирует ЭМП, влияющие на работу ИСУ, если последний располагается на расстоянии до 3 см (S. Lee et al., 2009). Такие же магниты применяют в ювелирных и платяных застежках. Существуют единичные сообщения о нарушениях в работе ИСУ, вызванных мощным локальным электромагнитным полем (R. Beinart et al., 2011). В исследовании T. Wolber и соавт. (2007), которое включило 55 больных с ИВР и 45 пациентов с ИКД, клинически значимые нарушения работы ИСУ отмечались в 30% случаев. В частности, регистрировали асинхронию водителя ритма и подавление тахикардии. Поскольку с увеличением расстояния от источника электромагнитного поля сила последнего существенно снижается, указанные нарушения наблюдались только тогда, когда наушники располагались в пределах 3 см от ИСУ. Кроме того, взаимодействие между ИСУ и наушниками определяется силой электромагнитного поля. Поэтому те модели наушников, которые вставляют в наружный слуховой проход и в которых, следовательно, используются магниты малых размеров, на работу ИСУ влияние не оказывают.

Портативные наушники и ИСУ – практические аспекты

- Пациенты с ИСУ могут пользоваться портативными наушниками
- Больным с ИСУ рекомендуется держать наушники как можно дальше от генератора импульсов (на расстоянии ≥ 3 см)

Тазеры

В настоящее время электрическое оружие чаще используют органы правопорядка. Наиболее распространенным прибором является Taser X26, стреляющий двумя стрелками, по которым проводятся очень короткие импульсы тока с зарядом в 1000–1500 В. Эти электроимпульсы могут восприниматься ИСУ, который расценивает их как шум либо как проявление внутрисердечной активности. Уже поступило шесть сообщений о воздействии тазера на пациентов с ИСУ (S. Vanga et al., 2009; M. Cao et al., 2008; L. Haegeli et al., 2006). Согласно одному из этих сообщений быстрая электрическая активность распознавалась ИКД как фибрилляция желудочков. Хотя конденсаторы были заряжены, дефибрилляция не последовала, поскольку электрическая активность прекратилась (L. Haegeli et al., 2006). В другом сообщении указывалось, что стрелка тазера попала в участок тела, располагающийся непосредственно над генератором импульса ИВР (M. Cao et al., 2008). При этом наблюдалась быстрая желудочковая активность, что, очевидно, было следствием шунтирования тока, генерируемого тазером, к окончанию электрода с последующим желудочковым захватом.

Прочие источники немедицинского назначения

Существуют единичные сообщения о том, что источником ЭМП могут выступать игральные автоматы. В частности, описано четыре случая, когда пациенты с ИКД подверглись электрической дефибрилляции во время игры на автомате (A. Madrid et al., 1997). Архивированные электрокардиограммы свидетельствовали, что на этих больных воздействовали ЭМП. В другой весьма интересной работе описывается влияние на ИВР квадратно-волнового прибора Zapper (~33 кГц), который используют в нетрадиционной медицине и который, согласно обещаниям, «избавляет от рака, других хронических заболеваний, а также паразитов и микробов». Этот прибор вызывал желудочковую сверхчувствительность и подавление водителя ритма, что сопровождалось головокружением и предобморочным состоянием (M. Fugter et al., 2004).

В медицинской литературе не описано влияние на ИВР электродрели и бензопил. В то же время их производители дают несколько общих советов, о которых следует знать пациенту. Так, рекомендуется располагать мотор электродрели и бензопилы как можно дальше от ИСУ (≥ 15 см); заземлять устройство соответствующим образом; использовать, если возможно, прерыватель контура на выходе (при неисправности заземления); избегать работы прибора в позиции переключателя locked-on.

Врачу необходимо помнить, что новые электронные устройства могут взаимодействовать с ИСУ. Например, недавно разработаны анализаторы биоэлектрического сопротивления, которые предназначены для оценки количества жировой ткани в организме (большой импеданс соответствует большему содержанию жировой ткани). При этом через электроды, соприкасающиеся с кожей, проходит небольшой электрический ток (≤ 500 мА). Хотя в литературе до сих пор не описаны случаи нежелательного взаимодействия между ИСУ и данным анализатором, тем не менее в инструкции указывается, что у таких пациентов этот прибор использовать не следует.

Misiri J., Kusumoto F., Goldschlager N. Electromagnetic interference and implanted cardiac devices: the nonmedical environment (part I). Clin Cardiol. 2012; 35 (5): 276-80

Продолжение в следующем номере.

Перевод с англ. Глеба Данина

3