

Interferências eletromagnéticas em portadores de marcapasso

Fontes exógenas

ÁLVARO S. A. FERREIRA*, LUIZ G. PIVOTTO*, ADA R. HORVATH**

SUMÁRIO

Desde o aparecimento de sistemas de estimulação cardíaca artificiais dotados de circuitos de sensibilidade, tem-se observado sua relativa vulnerabilidade frente a interferências de diferentes naturezas, tanto em situações ambientais características do dia a dia do paciente portador de marcapasso, quanto em circunstâncias em que há a necessidade de submetê-lo a procedimentos terapêuticos outros envolvendo correntes elétricas, ondas eletromagnéticas ou radiações. Aqui, são classificadas e analisadas as diferentes fontes de interferências exógenas, bem como é listada uma série de considerações práticas que possam auxiliar o profissional que orienta pacientes portadores de marcapasso.

Interferência elétrica; marcapassos; fontes de interferências; cuidados e orientação frente a interferências.

INTRODUÇÃO

Modernamente, todo gerador de marcapasso é protegido contra sinais de interferência em alta fre-

quência, por meio de sua cápsula metálica (geralmente construída a partir de uma liga de titânio) e também por capacitores de filtro localizados estrategicamente em sua estrutura arquitetônica, que se encarregam de atenuar as eventuais perturbações que o alcançarem (Fig. 1). Já a proteção contra sinais de interferência em baixa frequência é geralmente conseguida por meio de circuitos eletrônicos, que convertem o gerador de demanda em assíncrono, durante o intervalo em que persiste a influência da fonte de perturbações. Todavia, como as fontes de interferência são características de um

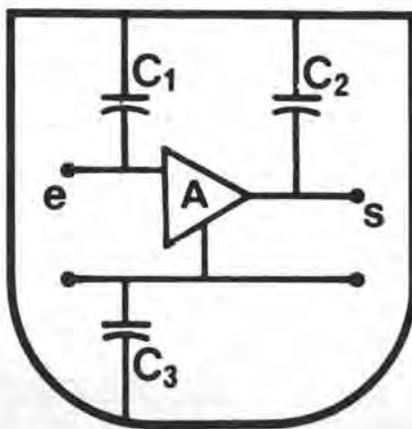


Fig. 1 — Capacitâncias de filtragem existentes entre o circuito eletrônico e a cápsula de blindagem do marcapasso.

mundo que evolui rapidamente e do qual fazem parte ambientes altamente automatizados, é razoável esperar que não se consiga inserir dentro de sistemas de estimulação cardíaca artificial (estes cada vez com maior diversidade de sensores) dispositivos de proteção com características universais, capazes de proporcionar segurança absoluta em frente de qualquer fonte de interferência.

Assim é que se torna fundamental ao profissional que trabalha com marcapassos procurar cada vez mais o entendimento crescente dos mecanismos de funcionamento das fontes de interferência, como são gerados e se propagam tais sinais e como se comportam os geradores de marcapasso quando submetidos a tais ambientes. Portanto, a compreensão semântica de termos tais como blindagem, aterramento, radiação e isolamento, que estão associados a biofísica de uma interferência específica é essencial para o domínio da situação, à medida que se deva orientar o paciente, tanto em seu cotidiano como quando submetido a tratamentos que interfiram no funcionamento elétrico do seu marcapasso.

* Engenheiros Eletrônicos — Cardio-Bras.

** Diretora-Médica — Clínica de Avaliação de Marcapassos e Eletrocardiografia Dinâmica.

O objetivo deste artigo é o de fornecer subsídios que permitam a compreensão do problema das interferências geradas a partir de fontes exógenas e, conseqüentemente, possibilitar ao profissional que trabalha com portadores de marcapasso o entendimento dos diferentes mecanismos de proteção hoje existentes e disponíveis em diferentes modelos bem como eventualmente selecionar, antes do implante, a melhor configuração possível em face das necessidades específicas do paciente.

FONTES DE INTERFERÊNCIA

Do ponto de vista da atuação sobre um sistema de marcapasso, as fontes de interferências podem ser divididas em dois grupos:

A. Exógenas:

- Galvânicas
- Magnéticas
- Elétricas
- Eletromagnéticas
- Magnetostáticas
- Radiações ionizantes.

B. Endógenas:

- Miopotenciais esqueléticos
- Ondas T em alerta ventricular
- Ondas R em alerta atrial
- Polarização da interface eletrodo-coração
- Recarga do capacitor de saída
- Fratura do eletrodo.

O mecanismo de funcionamento ou princípio de ação de todas as fontes de interferências citadas é basicamente o mesmo: se a voltagem entre os terminais do gerador de marcapasso atinge ou ultrapassa um determinado nível, os circuitos de tempo do sistema de marcapasso são influenciados, mudando conseqüentemente seu comportamento.

Se a interferência é identificada como tal, o gerador passa a funcionar no chamado "modo de interferência", o que via de regra significa estimulação assíncrona.

Todavia, se o sinal não for reconhecido como interferência, o cir-

cuito de sensibilidade o tratará como um sinal de origem cardíaca, podendo o gerador tornar-se síncrono (VVT, AAT, VAT) provocando ritmos competitivos (os quais podem induzir a taquicardias) ou então inibir-se (VVI, AAI, DVI, DDD), o que poderá gerar assistolias em pacientes dependentes do marcapasso implantado. Em alguns modelos de marcapasso, o gerador pode ainda reverter ao chamado modo de operação em **back-up**, que é a recorrência a um circuito especial de segurança, introduzido para aumentar a confiabilidade, por redundância no sistema, em frente de alguns modos de falha mais prováveis. Eventualmente pode ainda ocorrer a chamada programação fantasma do gerador, que é a mudança imprevista de parâmetros de operação do marcapasso por força da fonte de interferência. Obviamente, as três possibilidades acima são indesejáveis e podem ser provocadas, tanto pelo uso de equipamentos médico-hospitalares (como o eletrocautério ou o sis-

tema de ressonância magnética), quanto por motores elétricos industriais, equipamentos de solda elétrica ou até ocasionalmente por eletrodomésticos e ferramentas elétricas de uso doméstico.

O problema da identificação confiável de um sinal de origem cardíaco, imerso dentro de interferências, é trivialmente resolvido a partir do incremento da relação sinal/ruído, o que sem dúvida ainda permanece como um desafio técnico, uma vez que a variabilidade estatística dos sinais de interferência é grande, apresentando padrões que vão desde o ruído induzido pela rede elétrica a 60Hz, até os miopotenciais esqueléticos.

Cada uma das fontes de interferência é caracterizada e exemplificada adiante, sendo que, conforme já foi dito na introdução, o âmbito deste artigo se restringe à análise de fontes exógenas.

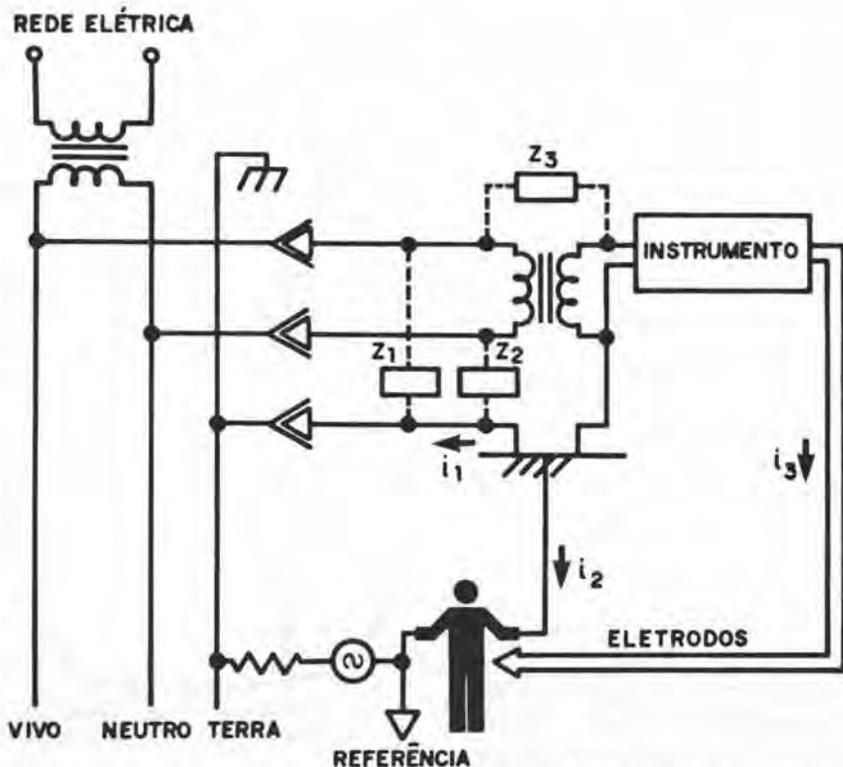


Fig. 2 — As correntes de fuga i_1 , i_2 , i_3 percorrem as impedâncias Z_1 , Z_2 e Z_3 inerentes aos cabos e conexões dos equipamentos. Ocorrendo a interrupção da ligação ao terra do sistema, a corrente i_1 se anula e a trajetória para a corrente passa a incluir o paciente em seu caminho.

Interferência galvânica

O acoplamento galvânico ocorre sempre que se forma um caminho para a corrente elétrica através do corpo, a partir dos dois pólos de uma fonte de energia elétrica (voltagem ou corrente). O percurso desta corrente pelo corpo cria necessariamente um campo elétrico e se a diferença de potencial entre os pólos do cabo-eletrodo do marcapasso chegar a 1mV, já é suficiente para que o sistema seja influenciado (Fig. 2). Sinais desta origem de grandeza, em 60Hz, são gerados cutaneamente por aparelhos elétricos comuns, com correntes ao nível de $40\mu\text{A}$ ou voltagens de 0,2V (valores eficazes), níveis estes que normalmente não são percebidos pela inervação cutânea.

Acoplamentos galvânicos são tipicamente exemplificados em aparelhos deficientemente aterrados, nas chaves de controle de eletrodomésticos, aparelhos de rádio ou televisão, teclados de computador ou painéis de elevadores. Na prática médica qualquer sistema para estimulação neural ou muscular, eletrocauterização ou coagulação bem como acupuntura elétrica são exemplos de fontes galvânicas que podem interferir com a função do marcapasso artificial. Equipamentos de eletroci-

rurgia, se utilizados em regiões vizinhas à trajetória do cabo-eletrodo por meio de acoplamento indutivo, podem até induzir ritmos de fibrilação na câmara cardíaca acoplada ao marcapasso artificial.

A aplicação médica de qualquer fonte de energia elétrica, em pacientes portadores de marcapasso, deve ser sempre acompanhada de monitoração eletrocardiográfica. Se interferências no sistema de estimulação forem detectadas, os instrumentos eletromédicos em uso deverão ser imediatamente submetidos à inspeção e correção em suas ligações de aterramento, como também deve-se procurar um reposicionamento do eletrodo indiferente do aparelho utilizado, deixando-se o eixo dos eletrodos da estimulação cardíaca livre de interferências, além de reprogramar-se o gerador de marcapasso ou até mantê-lo sob imã.

Interferência acoplada magneticamente

Um gerador de marcapasso unipolar com seu cabo-eletrodo configura um semicírculo entre seus pólos, com área de aproximadamente 300 cm^2 . De acordo com a Lei de Faraday, todo campo magnético va-

riável através de uma espira, induz entre seus terminais uma voltagem proporcional a área compreendida pela espira e a intensidade e frequência do campo magnético (Fig. 3). Por exemplo, um campo magnético de 14 A/m ($17,5\ \mu\text{T}$) e 60 Hz induz entre os pólos de um sistema unipolar uma voltagem de 1Mv.

Campos magnéticos dessa ordem de grandeza são encontrados em regiões próximas a condutores de altas correntes como por exemplo fornos siderúrgicos ou equipamentos de solda elétrica. Barbeadores elétricos mal condicionados também geram campos magnéticos nestes níveis, bem como alarmas anti-roubo, detectores de metais em aeroportos e em sistemas de segurança com identificação magnética.

Se o campo magnético for modulado, ele poderá eventualmente não ser reconhecido como interferência e portanto, sincronizar ou inibir o gerador de estímulos.

Interferência acoplada eletricamente

Condutores elétricos ou estruturas metálicas ligadas a fontes de alta tensão influenciam na distribuição de cargas elétricas na superfície do corpo, por meio da ação do campo elétrico associado. Se a distância for pequena e a frequência de alternância da voltagem for alta, a carga, que fisicamente se comporta como uma corrente alternada produzirá seus efeitos de forma semelhante a um acoplamento galvânico, como já foi explicado acima. No entanto, a partir de tensões da ordem de 1,5 kV em 60 Hz, a interferência no comportamento dos marcapassos ocorre por acoplamento elétrico. Apesar de tais situações serem relativamente raras para o portador de marcapasso, elas podem eventualmente serem encontradas em motores elétricos de elevadores de grande porte ou em sistemas de ignição de motores a combustão (Fig. 4), sendo que nestes casos, via de regra,

$$V = WBv$$

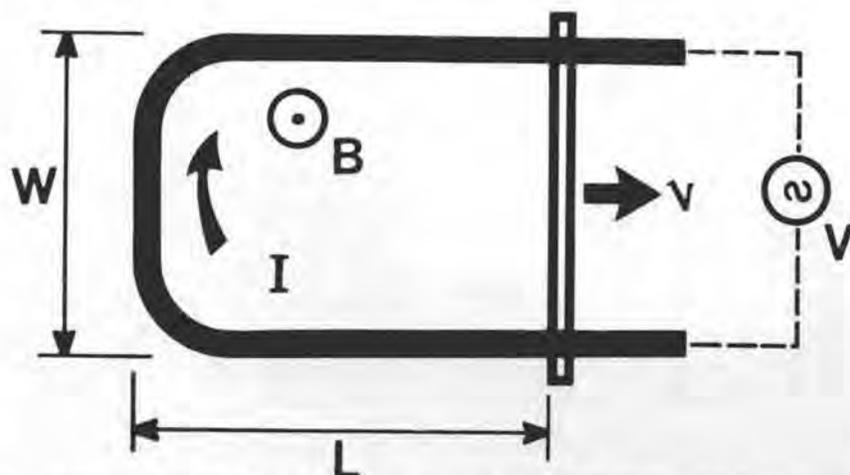


Fig. 3 — Uma voltagem V é induzida entre os terminais de uma espira, variando-se o fluxo do campo magnético através da área definida pela espira.

os marcapassos reverterem seu funcionamento para o modo de interferência (assíncrono).

Interferência acoplada eletromagneticamente

As equações de Maxwell demonstram que em altas frequências (acima de 100 KHz) um campo elétrico induz o aparecimento de um campo magnético e vice-versa. Portanto, tais entidades não podem mais serem tratadas separadamente como foi feito nos parágrafos anteriores. Tais ondas se propagam no corpo em profundidades cuja distância de penetração é função da respectiva frequência de emissão:

a) Quanto mais alta for a frequência, menor é o comprimento de onda do sinal se propagando dentro do organismo humano.

Se a ordem de grandeza do comprimento de onda do sinal se aproxima do comprimento do cabo-eletrodo, o sistema de estimulação se comporta fisicamente como uma antena de radiofrequência. Nesta situação, sinais de microondas (a partir de 1 GHz) se apresentam como os sinais potencialmente mais deletérios.

b) No entanto, em compensação, quanto mais alta a frequência, menor é a profundidade de penetração do sinal no organismo. Por exemplo, a penetração do sinal

de um forno de microondas (2,5 GHz) é de aproximadamente 6mm, sendo a maior parte da energia dissipada na camada superficial condutora do tecido epitelial.

Conseqüentemente, os sinais que devem ser tratados com maior cuidado em sua aplicação estão na faixa de 500 MHz, que é precisamente a banda na qual se compõem na prática médica os tratamentos por diatermia (434 MHz). Tais terapias, se indicadas a portadores de marca-passo, deverão ser conduzidas sempre sob monitoração eletrocardiográfica, levando-se ainda em consideração que as aplicações de ondas curtas (27 MHz) podem eventualmente, não ser identificadas como fontes de interferência pelo circuito de sensibilidade do marca-passo, inibindo ou sincronizando o gerador de pulsos, dependendo do seu modo de operação.

Por outro lado, radiações em microondas com potência de até 200 W, como é o caso do forno doméstico de microondas, não afetam de forma significativa o comportamento elétrico de geradores de marca-passo, podendo contudo afetá-los do ponto de vista da dissipação e absorção da energia térmica induzida.

Marca-passos mais antigos (projetados datados entre 5 a 10 anos atrás), e ainda eventualmente em uso, podem ser afetados por transmissores de rádio, mesmo na faixa e potência de equipamentos de rádio amador ou de emissores de sinais de radar, principalmente no momento da comutação das chaves de comunicação. Contudo, e em contraste com estas considerações, vale afirmar que os radares policiais, os detectores portáteis de metais (em aeroportos ou em sistemas de segurança), os dispositivos de ultra-som, os controles remotos (como os de aparelhos de TV e congêneres) ou os telefones sem fio não afetam o comportamento de marcapassos cardíacos.

Interferências acopladas magnetostaticamente

O movimento circular de um ímã (campo magnético típico de 2mT) sobre a loja do gerador de marca-passo, numa frequência em torno de 1Hz, pode provocar a inibição (ou a sincronização) do sistema, o que ocorre não por indução de voltagem, mas pelo fato de que a **reed switch** é ciclicamente ativada, provocando em alguns marcapassos um sinal elétrico não identificado como interferência. Situações análogas podem ser encontradas na operação de máquinas operatrizes portáteis (furadeiras, lixadeiras, etc.), onde a corrente de partida da ordem de 20A e durante 5ms é suficiente para influenciar a **reed switch** por meio do campo magnético induzido. Unidades de disco magnético de computadores e ímãs permanentes de alto-falantes potentes apresentam também campos magnéticos dessa ordem de grandeza, porém dificilmente, em função das distâncias de operação, poderão provocar alterações de comportamento nos sistemas de marcapassos implantados.

É também importante, dentro da prática médica, que se lembre que o campo magnético utilizado em sis-

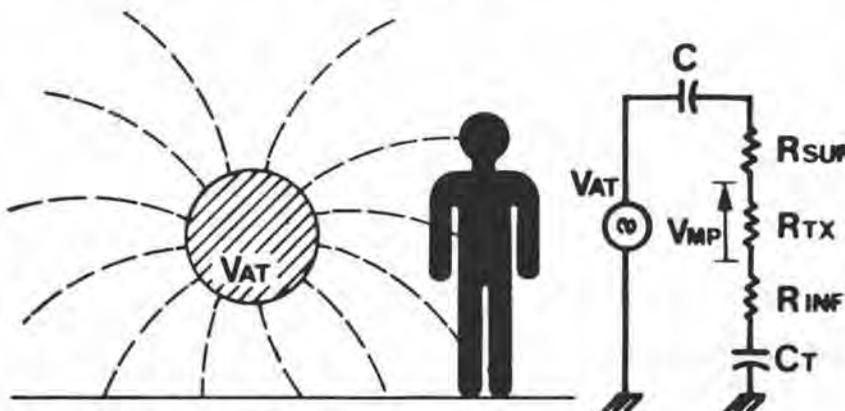


Fig. 4 — INTERFERÊNCIA ACOPLADA ELETRICAMENTE

No circuito equivalente à direita o campo elétrico gerado pela fonte de alta tensão V_{AT} induz entre os terminais do marca-passo (MP) a voltagem V_{MP} , que é acoplada ao paciente pelo capacitor C_T , e se distribui pelo corpo segundo o divisor de tensão formado pelas resistências do tórax R_{TX} , da parte superior e inferior do corpo R_{SUP} e R_{INF} , e pelo capacitor de acoplamento de terra C_T .

temas de ressonância magnética é extremamente mais elevado do que os valores limiares que comutam a **reed switch** dos geradores de marcapasso. Um efeito indesejável, apesar de raro, poderá ser observado em marcapassos mais antigos (projetos entre 5 a 10 anos atrás), que são programáveis por chaveamento da **reed switch**, é a programação fantasma, ou seja, a mudança acidental de seus parâmetros de operação por ação de um campo magnético, gerado conforme descrito acima.

Radiações ionizantes

Radiações de alta energia tais como raio X, raios gama, elétrons, prótons, nêutrons bem como partículas cósmicas podem afetar profundamente as características operacionais de dispositivos semicondutores, dependendo do tipo e dose total da radiação e do tipo e caracterização de fabricação do dispositivo em questão. Circuitos miniaturizados e de alta densidade, como os utilizados na eletrônica de marcapassos, apresentam maior susceptibilidade à denominada degradação por radiação.

Os efeitos da radiação sobre materiais, podem ser classificados em dois grandes grupos:

- Mudanças estruturais no arranjo dos átomos dentro da estrutura cristalina, com ou sem a incorporação de novas espécies atômicas geradas por transmutação nuclear;
- Mudanças funcionais, induzidas pela ionização de átomos da estrutura cristalina, na forma de alterações permanentes ou eventualmente como alterações de caráter transitório, que decaem rapidamente após a remoção da fonte ionizante.

Em função dos requisitos de baixo consumo e alta confiabilidade, modernamente a eletrônica de marcapassos tem-se baseado na chamada tecnologia CMOS (Complementary

Metal Oxide Semiconductor). A célula eletrônica fundamental desta tecnologia é constituída por um transistor MOS formado por três terminais, onde a voltagem aplicada em um deles **gate** controla a corrente que passa entre os outros dois **source** e **drain**. O terminal onde se aplica voltagem **gate** se encontra isolado dos outros dois, por meio de uma camada de dióxido de silício (SiO_2) que é o que exatamente confere a característica de controle ao terminal **gate**.

Quando transistores MOS são submetidos à radiação ionizante, portadores de carga adicionais são criados dentro da camada isolante de dióxido de silício. Quando a fonte de radiação é removida, este excesso de portadores tende a se recombinar com os átomos da estrutura cristalina do semicondutor, o que resulta obviamente no aparecimento de uma carga elétrica residual dentro da camada de SiO_2 .

A ionização da camada de SiO_2 , conforme foi explicado acima, tanto pode alterar os parâmetros de operação do transistor MOS como pode também estabelecer trajetórias de correntes de fuga entre partes adjacentes do circuito, provocando portanto curto-circuitos que comprometem em definitivo o funcionamento do sistema. Doses mínimas de radiação bem como a extensão dos seus efeitos danosos são difíceis de serem prognosticados. A literatura registra casos de degeneração funcional em circuitos CMOS em intervalos dosimétricos que vão desde 1.000 rads até 15.000 rads. Num circuito integrado típico de marcapasso, existem de 5.000 a 10.000 transistores que estão simultaneamente expostos à radiação e portanto todos sujeitos à idêntica probabilidade de falha, o que torna complexa a tarefa de se prever a evolução do modo de operação do sistema de marcapasso exposto à radiação.

De qualquer forma, das considerações acima, podem-se sumarizar as seguintes conclusões práticas:

- Qualquer dispositivo em tecnologia CMOS falhará quando submetido a doses suficientemente altas de radiação ionizante e seu modo de falha é imprevisível;
- Níveis de radiação utilizados em métodos diagnósticos não são preocupantes, porém radiações em doses terapêuticas para tratamento de neoplasias, pelo fato de serem cumulativas, via de regra devem ser consideradas como importante fator de risco a comprometer a confiabilidade do marcapasso em exposição.

CONSIDERAÇÕES PRÁTICAS

MARCAPASSOS DURANTE TRATAMENTO MÉDICO E SOB INFLUÊNCIAS AMBIENTAIS.

Eletrocauterização, cardioversão e eletrochoque

O comportamento de um marcapasso implantado pode ser alterado por ação de fontes de interferência, geradas pelo uso de eletrocauterizadores, cardioversores, desfibriladores no tratamento eletroconvulsivo ou na aplicação de eletrochoques em psiquiatria. Existe ainda o risco de que uma descarga elétrica possa ser acoplada por meio do marcapasso diretamente à junção eletrodo-coração, provocando queimaduras, arritmias ou injúrias que aumentem o limiar de estimulação ou alterem as condições de sensibilidade do sistema de marcapasso. Em tais situações, os eletrodos ou terminais de aplicação de corrente do instrumento eletromédico devem ser posicionados sempre o mais distante possível do sistema de marcapasso (no mínimo de 20 a 30 cm). Além disso, a trajetória principal de corrente, definida pela linha imaginária entre os dois pólos do instrumento eletromédico não deverá cruzar o eixo elétrico da estimulação cardíaca, definido pela linha imaginária entre os dois pólos do marcapasso.

Na cardioversão e desfibrilação, as pás devem ser aplicadas em posi-

ção ântero-posterior (em vez de se procurar um posicionamento anterior direita/esquerda), o que minimiza a possibilidade de aplicação da descarga elétrica diretamente sobre o gerador de marcapasso, bem como a aplicação de corrente elétrica diretamente sobre a trajetória do cabo-eletrodo do sistema de marcapasso.

Se for indicado ao paciente um procedimento cirúrgico que requeira o uso de eletrocauterizador, um cardiologista deverá ser consultado com relação ao grau de dependência do paciente à estimulação cardíaca artificial. Eventualmente, deve-se reprogramar o sistema de marcapasso no seu modo de operação (por exemplo, para VOO ou VTT), em sensibilidade, frequência, etc., dependendo do modelo do marcapasso e dependência do paciente. Em marcapassos não programáveis, pode-se aplicar o ímã para reverter o sistema para o modo assíncrono (frequência magnética). O aterramento do cauterizador deverá ser meticulosamente realizado e a colocação do eletrodo, indiferente do mesmo, deverá ser feita o mais distante possível do eixo elétrico de estimulação do marcapasso, promovendo-se o melhor contato elétrico também com a utilização de bastante pasta ou gel condutor.

Como regra geral, a aplicação de qualquer método terapêutico que envolva correntes elétricas a um paciente portador de marcapasso deve ser acompanhada de monitoração eletrocardiográfica durante a realização de todo o procedimento. Se a aplicação terapêutica interfere eletricamente com o sistema de monitoração, como no caso da eletrocauterização, no qual o traçado eletrocardiográfico torna-se por vezes bastante ruidoso, deve-se obrigatoriamente acompanhar o ritmo cardíaco palpando-se o pulso periférico do paciente.

Após qualquer intervenção elétrica, realizada sobre um paciente portador de marcapasso, o mesmo de-

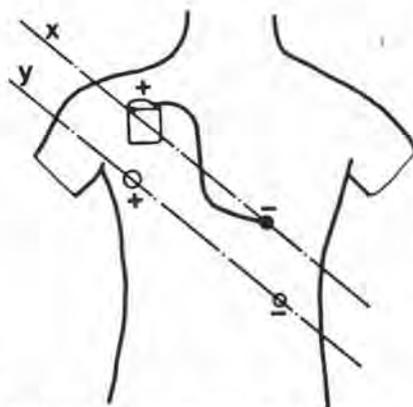


Fig. 5 — "x" é o eixo elétrico de captação do sistema de marcapasso, enquanto "y" define a linha principal de corrente do equipamento eletromagnético.

verá ser obrigatória e rigorosamente reavaliado, tanto no que se refere a alterações funcionais do sistema artificial (danos elétricos ou reprogramação) como no que se aplica a mudanças na interface eletrodo-corção (limiares de estimulação e sensibilidade) como também quanto a novo padrão eletrocardiográfico que passe a apresentar taquicardias ou novos focos arritmicos.

Diatermia

Como foi visto, a utilização de alguns equipamentos de diatermia ou ondas curtas podem provocar a inibição do sistema de marcapassos, ou até eventualmente algum dano se o equipamento não estiver apropriadamente aterrado e for aplicado em regiões muito próximas ao gerador de marcapasso. A monitoração eletrocardiográfica é obrigatória e a linha principal de corrente elétrica a ser aplicada deve ser configurada de forma a não interceptar geometricamente o eixo elétrico de estimulação elétrica do marcapasso, como ilustra a Fig. 5.

Estimulação elétrica transcutânea

As indicações de estimulação nervosa transcutânea têm-se tornado mais frequentes e compõem sempre em número crescente nas aplicações neurológicas e em problemas

com músculos esqueléticos. Todavia mesmo nas aplicações em locais distantes do gerador, como por exemplo em regiões baixas da coluna espinal, deve-se sempre monitorar eletrocardiograficamente o paciente, seguindo-se as recomendações gerais descritas.

Radiação ionizante

O comportamento dos marcapassos não é afetado pelo raio X para diagnóstico, porém níveis de radiações terapêuticas repetitivas são acumulativas e podem apresentar efeitos danosos ao funcionamento do sistema. Como se explicou, a tecnologia de circuitos integrados denominada CMOS é particularmente suscetível à radiação ionizantes, a qual provoca danos nos isoladores de óxido de silício de seus transistores.

A aplicação de radiação em doses terapêuticas pode resultar em falha completa, aleatória ou intermitente do circuito eletrônico do marcapasso. Além do mais, como a dose de radiação é acumulativa (de uma exposição terapêutica para a seguinte), não se pode fazer nenhum prognóstico sobre a dosagem a ser eventualmente utilizada, havendo casos de danos relatados deste 1.000 rads até 15.000 rads, sendo tais efeitos mais prejudiciais aos sistemas de marcapasso quanto mais próximo este estiver do local irradiado.

De qualquer forma, sempre que a radiação ionizante for prescrita, deve-se blindar com placas de chumbo o local do gerador de marcapasso (lembrando que a radiação ionizante não afeta os eletrodos de estimulação cardíaca). Caso o gerador estiver na região alvo do campo de radiação, deve-se mudá-lo cirurgicamente de posição e procederem-se reavaliações frequentes da operacionalidade do sistema de estimulação artificial.

Ressonância magnética

Os sistemas de diagnóstico por imagem a partir da ressonância magnética têm se tornado, cada vez mais, um importante método diagnóstico do clínico moderno. Todavia, os equipamentos de ressonância magnética com seu poderoso campo magnético estático, juntamente com seus campos de radiofrequência, podem afetar a operação normal dos sistemas de marcapasso, no mínimo, revertendo-os ao modo magnético por comutação da **reed switch**, como já comentado anteriormente.

As investigações conduzidas até o momento não relatam ocorrência de danos permanentes provocados sobre marcapassos, nem pelo intenso campo magnético estático nem pelos componentes de radiofrequência contidos nos sinais dos sistemas de imagem por ressonância magnética.

Experiências conduzidas em condições críticas a partir de animais portadores de marcapasso mostram que alguns modelos se tornam suscetíveis a serem controlados pelos pulsos de radiofrequência gerados pelo equipamento de ressonância magnética, chegando a gerar estímulos em frequências de até 3.000 pulsos por minuto.

Até o momento, não há ainda experiência acumulada que permita a adoção de procedimentos para a utilização segura de métodos diagnósticos por ressonância magnética, em pacientes portadores de marcapasso, devendo-se pois contra-indicar o seu uso nesses pacientes.

Condições ambientais

Não há casos relatados na literatura que demonstrem a ocorrência de danos permanentes em marcapassos, provocados pela utilização de equipamentos elétricos, corriqueiramente encontrados em ambiente doméstico ou profissional. A ocorrência mais freqüente é a in-

terferência temporária que altera o comportamento normalmente exibido pelo marcapasso, inibindo-o, sincronizando-o ou eventualmente até revertendo-o ao modo de interferência, podendo-se afirmar definitivamente que eletrodomésticos não constituem problema (ou complicação) para o paciente portador de marcapasso.

Todavia, podem existir restrições potencialmente significativas para alguns pacientes, sendo cada circunstância diferente e portanto requerendo um envolvimento individualizado dos profissionais que acompanham o caso. Assim, portadores de marcapasso que, por exemplo, trabalhem próximo a grandes motores, tanto os elétricos como os de combustão interna, equipamentos de solda elétrica ou em siderúrgicas com fornos de indução podem evidenciar alterações temporárias no funcionamento de seus sistemas.

Conforme já foi analisado, cada fonte de interferência tem características diferentes e eventualmente o cardiologista deve procurar suporte junto ao fabricante do marcapasso, procurando quantificar o risco potencial que existe para o paciente em seu ambiente de trabalho. Em determinados casos será necessário orientar o paciente para que mude sua atividade profissional ou simplesmente evite o uso ou proximidade de equipamentos específicos.

CONCLUSÃO

Como se viu, em função do uso de cápsulas metálicas, que funcionam como blindagens herméticas, a via de entrada dos sinais de interferência no circuito eletrônico é constituída pelos pólos (eletrodos) do sistema de marcapasso, sendo pois, a distância entre os pólos do sistema de estimulação cardíaca, de importância fundamental, para que se quantifique sua vulnerabilidade em frente das diferentes fontes de interferência.

Considerando-se a distância entre os pólos de um sistema unipolar como U e a do sistema bipolar como b , pode-se afirmar que a relação b/U é uma boa mensuração do índice de rejeição de interferências da configuração bipolar em relação à unipolar, tanto frente a fontes de acoplamento galvânico e elétrico, quando frente a fontes de interferência eletromagnética, quando o comprimento da onda for de ordem de grandeza superior as dimensões do cabo-eletrodo utilizado. Sempre quando a frequência da fonte de interferência for superior a 100 MHz é que o efeito protetor do sistema bipolar diminui, comparando-se então o seu desempenho ao da configuração unipolar.

Sob campos magnéticos a eficiência de rejeição da configuração bipolar é também superior, principalmente à medida que o segmento formado pelo cabo-eletrodo abranja a menor área possível, ou seja, se encontre o mais retificado possível, o que faz com que o índice de rejeição se aproxime de b/U .

Se o potencial deletério de determinadas fontes de interferência for conhecido antes do implante do marcapasso, o uso de um sistema bipolar bem como modelos de geradores com características específicas podem otimizar ou até eventualmente resolver totalmente o problema.

Apesar das considerações demonstrarem que há ainda bastante espaço para aperfeiçoamentos nos mecanismos e critérios de controle de interferências eletromagnéticas em marcapassos, pretende-se com esta revisão tornar o trabalho do profissional que orienta portadores de marcapasso mais objetivo.

É de esperar, que com o uso de marcapassos modernos, os pacientes cada vez menos encontrem dificuldades funcionais com aparelhos como fornos de microondas ou detectores de metais utilizados em

aeroportos ou então no momento de sofrerem intervenções elétricas, por indicação de terapias específicas, que se façam necessárias. Qua-

se todas as fontes de interferências estudadas podem afetar de forma diferente, pacientes diferentes, devendo-se pois, investigar cada situa-

ção de forma individual e personalizada, evitando-se generalizações que limitem de forma desnecessária a qualidade de vida do paciente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AAMI: Pacemaker Standard, August 1975. FDA Contract Nr. 223-74-5983.
2. ADAMEC, R.; HAEFLIGER, J. M.; KILLISCH, J. P. et al. — Damaging effect of therapeutic radiation on programmable pacemakers. *PACE*, **5**: 146, 1982.
3. ALFERNESS, C. A. — Pacemaker damage due to external counter-shock in patients with implanted cardiac pacemakers (letter to the editor). *PACE*, **5**: 457, 1982.
4. AYLWARD, P.; BLOOD, R.; TONKIN, A. — Complications of defibrillation with permanent pacemaker in situ. *PACE*, **2**: 462, 1979.
5. BELOTT, P. H.; SANDS, S.; WARREN, J. — Resetting of DDD pacemakers due to EMI. *PACE*, **7**: 169, 1984.
6. BLAMIRE, N. G.; MYATT, J. — X-ray effects on pacemaker type circuits. *PACE*, **5**: 151, 1982.
7. BRAMOWITZ, A. D.; SMITH, J. W.; EBER, L. M. et al. — Runaway pacemaker: A persisting problem. *JAMA*, **228**: 340, 1974.
8. BREIVIK, JK.; ENGEDAL, J.; OHM, O. J. — Electrophysiological properties of a new permanente endocardial lead for unipolar pacing. *PACE*, **5**: 268, 1982.
9. BRUCKER, G. J.; HEAGERTY, W. — Radiation effects in a CMOS/SOS/AL-gate- D-A converter and onchip diagnostic transistor. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, **23**: 1617, 1976.
10. CALFEE, R. V. — Therapeutic radiation and pacemakers. *PACE*, **5**: 160, 1982. (editorial)
11. ECHEVERRIA, H. K.; LUCERI, R. M.; THURNER, R. J.; CASTELLANOS, A. — Myopotential inhibition of unipolar AV sequential (DVI) pacemaker. *PACE*, **5**: 20, 1982.
12. FETTER, J.; ARAM, G.; HOLMES, D. R. Jr. et al. — The effects of nuclear magnetic resonance imagers on external and implantable pulse generators. *PACE*, **7**: 720, 1984.
13. FURMAN, S.; PARKER, B.; KRAUTHAMMER, J.; ESCHER, D. J. — The influence of electromagnetic environment on the performance of artificial cardiac pacemaker. *Ann Thorac. Surg.*, **6**: 90, 1968.
14. FURMAN, S. — Electromagnetic interference. *PACE*, **5**: 1, 1982.
15. GRIFFIN, J. G. — Sensing characteristics of the right atrial appendage electrode. *PACE*, **6**: 22, 1983.
16. IESAKA, Y.; PINAKATT, T.; GOSSELIN, A. J.; LISTER, J. W. — Bradycardial dependent ventricular tachycardia facilitated by myocardial inhibition of a VVI pacemaker. *PACE*, **5**: 23, 1982.
17. IRNICH, W.; de BAKKER, J. M. T.; BISPING, H. — Electromagnetic interference in implantable pacemakers. *PACE*, **1**: 52, 1978.
18. IRNICH, WERNER — Interference in pacemakers. *PACE*, **5**: 1021, 1984.
19. KATZENBERG, C. A.; MARCUS, F. I.; HENSINKVELD, R. S. et al. — Pacemaker failure due to radiation therapy. *PACE*, **5**: 156, 1982.
20. KING, E. E.; MARTIN, R. L. — Effects of total dose ionizing radiation on the 1802 microprocessor. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, **NS-24**: 2172, 1977.
21. LEVINE, P. A. — Pacemaker pseudomalfunção. *PACE*, **4**: 563, 1981.
22. MATTEUCCI, A. J.; SCHENEIDER, M. F. — Radiation testing complementary (Symmetry) metal oxide semiconductor (CMOS) arrays for satellites. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, **NS-24**: 2285, 1977.
23. MORRISON, RALPH — Grounding and Shielding Techniques in Instrumentation. John Wiley and Sons, 1977, N.Y.
24. NORMA BRASILEIRA — NBR-10336 — Marcapassos Cardíacos Artificiais Implantáveis — Gerador de Pulso — Procedimento.
25. NORMA BRASILEIRA — NBR-10337 — Marcapassos Cardíacos Artificiais Implantáveis — Gerador de Pulso — Método de Ensaio e Verificação.
26. NORMA BRASILEIRA — NBR-10338 — Marcapassos Cardíacos Artificiais Implantáveis — Gerador de Pulso — Especificação.
27. O'BRIEN, E. — Environmental dangers for the patient with a pacemaker. *Br. Med. J. (Clin. Res.)* **285**: 1677, 1982. (editorial)
28. SECESKY, S. I.; HAUSER, R. G.; DENES, P.; EDWARDS, L. M. — Unipolar sensing abnormalities: Incidence and clinical significance of skeletal muscle interference and undersensing in 228 patients. *PACE*, **5**: 10, 1982.