

Interferências da Telefonia Celular em Marcapassos Cardíacos Implantáveis

Zolmo de OLIVEIRA JR.⁽¹⁾ Rogério Q. ZARZA⁽¹⁾ Michael F. LEE⁽²⁾ Flávio A. MENEGOLA⁽¹⁾
Carlos A. S. NUNES⁽¹⁾ Leonardo R. A. ANNUNZIATO⁽³⁾ Alexandre M. COSTA⁽³⁾

Reblampa 78024-265

Oliveira Jr. Z. Zarza R Q. Lee M F. Menegola F A. Nunes C A S. Annunziato L R A. Costa A M.
Interferências da telefonia celular em marcapassos cardíacos implantáveis. Reblampa 2000;
13(2): 77-85.

RESUMO: O avanço tecnológico produz continuamente equipamentos que podem ser fontes potenciais de interferências eletromagnéticas para os marcapassos cardíacos artificiais implantáveis. O principal objetivo deste trabalho é fornecer esclarecimentos aos profissionais que atuam na área de estimulação cardíaca artificial sobre o potencial de interferência dos telefones celulares analógicos e digitais sobre os marcapassos cardíacos, para que o paciente portador de marcapasso cardíaco implantável seja orientado de forma adequada quanto à sua utilização.

DESCRITORES: marcapasso cardíaco, telefone celular, interferência.

INTRODUÇÃO

Com a implementação de circuitos de sensibilidade nos geradores de pulsos elétricos, proporcionou-se a preservação do ritmo intrínseco do paciente, evitando assim ritmos competitivos. O fato do marcapasso de demanda "sentir" potenciais elétricos intracardíacos tornou-o suscetível às interferências de diferentes naturezas, tanto em situações ambientais características do dia-a-dia, quanto nas circunstâncias em que o paciente é submetido a procedimentos terapêuticos (aplicação de correntes elétricas, ondas eletromagnéticas ou radiações)¹.

Entretanto, com o progresso da tecnologia, há um número crescente de equipamentos e ambientes automatizados que podem ser considerados potenciais fontes de interferências. Ainda não existe um marcapasso cardíaco implantável com dispositivos

de proteção capaz de proporcionar segurança absoluta frente a quaisquer fontes de interferência.

Desta forma, é fundamental que o profissional que trabalha com marcapassos cardíacos implantáveis entenda o mecanismo de funcionamento das fontes de interferência, como são geradas e como se propagam seus sinais, alterando o funcionamento do marcapasso, a fim de poder orientar o paciente a evitar qualquer tipo de fonte de interferência que possa causar danos ao sistema gerador-eletrodo implantado.

O desenvolvimento de novas tecnologias introduziu novos artefatos geradores de campos eletromagnéticos^{2,3}, fontes potenciais de interferência para os marcapassos cardíacos.

Apesar da existência de vários equipamentos, dar-se-á aqui especial atenção aos telefones celula-

(1) Engenheiro Biomédico, Departamento de Engenharia Médica, Biotronik.

(2) Biomédico, Departamento de Engenharia Médica, Biotronik.

(3) Engenheiro Eletrônico, Departamento de Engenharia Médica, Biotronik.

Endereço para correspondência: Rua dos Inocentes, 506 - Socorro - CEP: 04764-050 - São Paulo - SP - Brasil. Telefone: (011) 521.1933

Fax: (0xx11) 522.3147 e-mail: biotron@uninet.com.br

Trabalho recebido em 03/1999 e publicado em 06/2000.

res, pois com a sua popularidade crescente e com o aumento da população de pacientes portadores de marcapassos cardíacos, há uma preocupação quanto à possibilidade destes pacientes virem a utilizar o telefone celular, que é essencial para muitos profissionais.

Muito se tem comentado sobre sua utilização por pacientes portadores de marcapassos sendo que, algumas informações divulgadas não têm comprovação científica. Este trabalho tem como objetivo esclarecer o funcionamento básico dos telefones celulares analógico e digital, bem como fornecer informações sobre os sistemas de telefonia celular implantados em território brasileiro, além de realizar um levantamento bibliográfico sobre este assunto, a fim de esclarecer a interação celular-marcapasso, para uma melhor orientação dos pacientes portadores de marcapassos.

Tecnologias Empregadas em Telefonia Celular

As perspectivas de crescimento da telefonia celular no mundo são impressionantes. A rede mundial, que em novembro de 1996 atingia 110 milhões de assinantes, no ano 2000 deverá alcançar 350 milhões, 60% dos quais no sistema digital. No ano 2005, estima-se que poderão ser 850 milhões.

Atualmente, os padrões de tecnologia em telefonia celular existentes são o analógico e o digital. Os sistemas que realizam esses dois padrões são basicamente constituídos de três elementos, e conexões:

a) estação móvel (aparelho celular): tem a função de transmitir e receber sinais de controle de voz, permitindo o estabelecimento da ligação e possibilitando a conversação. São produzidas por um grande número de fabricantes, com facilidades diversas.

b) estação rádio base (ERB): permite a interligação das estações móveis com a central de comutação e controle. Contém transceptores, rádio e antenas. Transmite e recebe sinais de controle e sinais de voz para as várias estações móveis, dentro de sua área de cobertura.

c) central de comutação e controle (CCC): é responsável pela interconexão do sistema com rede

telefônica pública comutada (RTPC). Comuta chamadas originadas/terminadas para as estações móveis e permite que estas tenham à sua disposição os mesmos serviços e facilidades fornecidas aos assinantes fixos.

Vários países adotaram diferentes categorias e tipos de sistemas em telefonia celular, conforme Quadro 1⁴, modificada.

No sistema analógico FDMA (Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência), o espectro de frequência disponível é dividido em várias bandas denominadas canais. Cada canal comporta o sinal de apenas um usuário. O sinal do usuário é composto por duas portadoras, uma que leva informação do telefone celular até a ERB e outra que realiza o caminho inverso, conforme mostra a Figura 1. Essas duas portadoras configuram um circuito fechado em que informações vão e vêm ao mesmo tempo. Um canal é como uma estação de rádio FM, em que para falar é preciso sintonizar as duas portadoras, como se sintonizam as estações.

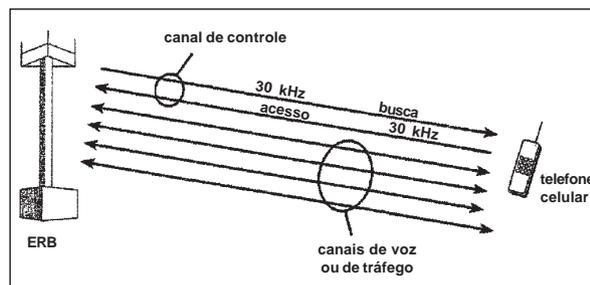


Figura 1 - Comunicação bidirecional entre telefone celular e ERB (sistema analógico FDMA - AMPS).

No sistema digital TDMA (Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo), o canal consiste de uma janela de tempo, em uma sequência periódica de intervalos de tempo, podendo comportar mais de um usuário.

No sistema CDMA (Acesso Múltiplo por Divisão de Código), o sinal de cada usuário consiste de uma sequência binária complexa, resultando em um sinal espalhado, que ocupa toda a largura de banda disponível. Os sinais de 60 assinantes são transmitidos

QUADRO 1
DIFERENTES TECNOLOGIAS EMPREGADAS EM TELEFONIA CELULAR

Padrão	Categoria	Tipo	Faixa de Frequência	Potência	Local de Uso
Analógico	FDMA	AMPS/NAMPS	824-894 MHz	0,6-3,0 W	Mundial
Digital	TDMA	NADC	824-894 MHz	0,6-3,0 W	EUA, América Latina
Digital	CDMA	US TDMA	806-821 MHz	1,0 W	EUA, Japão
Digital	CDMA	GSM	890-960 MHz	2,0-8,0 W	Europa, Austrália
Digital	CDMA	CDMA	824-894 MHz	0,2 W	EUA, América Latina

simultaneamente na mesma frequência portadora. É uma portadora mais larga (1,25 MHz), que ocupa o espaço de seis canais AMPS em uma ERB, em grupos de sete células. Os assinantes são identificados por um código individualizado. Os sistemas CDMA são chamados digitais, devido ao fato da voz dos assinantes ser digitalizada (convertidas em bits). Pelo processo mais comum de conversão, a digitalização de 1 segundo de conversa resulta em 64.000 bits, ou 64 kbps, tal como evidência a Figura 2. O procedimento de digitalização tem a finalidade de facilitar o processamento das informações provenientes dos sinais de voz, pois o equipamento, por ser computadorizado, trabalha apenas com os dígitos zero e um. Além disso, é mais fácil fazer cálculos complexos usando bits do que sinais analógicos.

Resumidamente, a comunicação nos sistemas mencionados dá-se do seguinte modo: no sistema analógico FDMA, quando o usuário conversa, ocupa duas posições fixas no espectro de frequências: as portadoras para transmitir e receber informações. No sistema digital TDMA, o usuário divide o mesmo canal com dois outros assinantes, cada um a seu tempo. Já no sistema digital CDMA, os sinais de 60 assinantes por ERB são transmitidos na mesma frequência portadora, simultaneamente, conforme se vê na Figura 3.

Tecnologias Empregadas em Telefonia Celular Adotadas no Brasil

Também no Brasil, os padrões de tecnologia celular são analógico e digital. O padrão analógico AMPS foi definido pela Norma Geral de Telecomunicações NGT nº 20/96. Este sistema AMPS utiliza uma faixa de frequência de 824 a 894 Mhz, dividida em duas sub-faixas, cada uma com 25 MHz de largura: uma para a comunicação no sentido ERB-celular, que vai de 869 a 894 MHz, e outra para comunicação no sentido celular-ERB, que vai de 824 a 849 MHz. Observa-se que há um intervalo de 20 MHz entre as duas sub-faixas, para evitar interferências entre elas, conforme mostra a Figura 4.

As duas sub-faixas são divididas em porções (por-

tadoras) de 30 KHz de largura. Há 832 portadoras no sentido ERB-celular e outras 832 no sentido inverso.

O padrão digital, regulamentado pela NGT nº 20/96, permite que as concessionárias adotem outros padrões de tecnologia celular, desde que compatíveis com o sistema AMPS, que permitam a utilização de uma estação móvel dual, ou seja, de um aparelho celular capaz de operar tanto no sistema AMPS (analógico) como no utilizado pela concessionária (digital). Os sistemas digitais adotados são os já descritos TDMA e CDMA.

A Figura 5 ilustra as formas de onda dos sinais elétricos utilizados na transmissão de sistemas de telefonia celular analógico (contínuo) e digital (pulsado).

Para esses dois padrões (analógico e digital) há uma faixa de frequências que está dividida em duas sub-faixas, as bandas "A" e "B". Isto permite que, em uma mesma localidade, o serviço possa ser operado por duas concessionárias distintas, em regime de concorrência, uma ocupando a banda "A" e outra a "B".

Com o intuito de auxiliar os profissionais que atuam na área de estimulação cardíaca artificial, apresentar-se-á uma divisão das áreas de concessão para prestação do serviço de telefonia celular no território brasileiro, para que o paciente portador de marcapasso cardíaco implantável seja orientado de forma adequada quanto aos riscos potenciais da utilização destes em sua região. Essas áreas de concessão são divididas do seguinte modo⁵:

Área 1: área geográfica que inclui os seguintes municípios pertencentes ao estado de São Paulo: Alumínio, Araçatiguama, Arujá, Atibaia, Barueri, Biritiba-Mirim, Bom Jesus dos Perdões, Bragança Paulista, Cabreúva, Caieiras, Cajamar, Campo Limpo Paulista, Carapicuíba, Cotia, Diadema, Embu, Embu-Guaçu, Ferraz de Vasconcelos, Francisco Morato, Franco da Rocha, Guararema, Guarulhos, Igaratá, Itapeverica da Serra, Itapevi, Itaquaquecetuba, Itatiba, Itú, Itupeva, Jandira, Jarinu, Joanópolis, Jundiá, Juquitiba, Mairinque, Mairiporã, Mauá, Mogi das Cruzes,

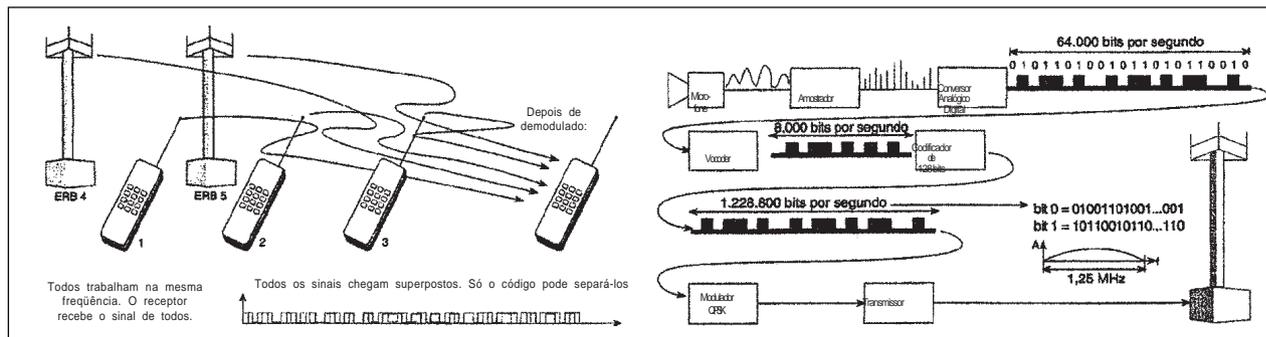


Figura 2 - Esquema básico do funcionamento do sistema CDMA.

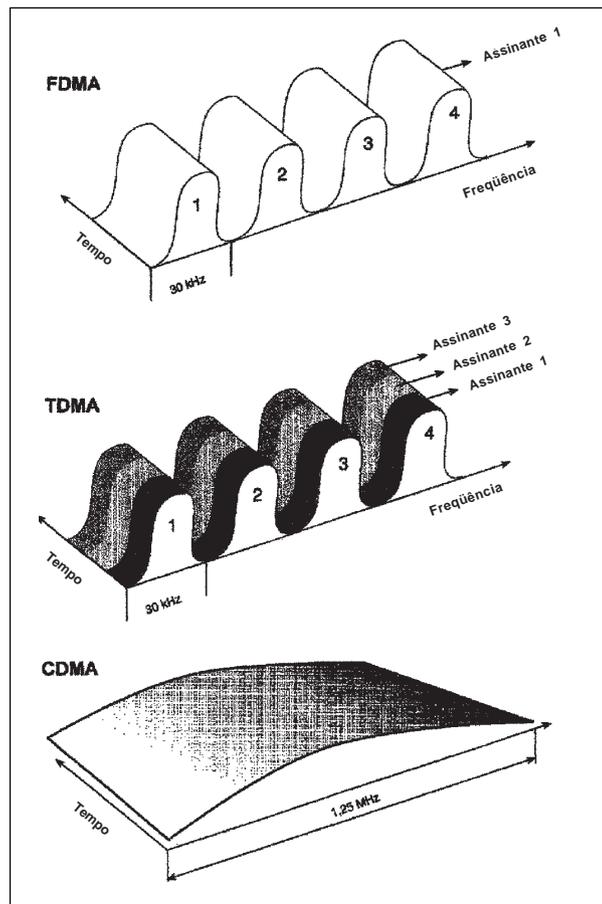


Figura 3 - Comparação entre os acessos por divisão de frequência (FDMA), de tempo (TDMA) e de código (CDMA).

Morungaba, Nazaré Paulista, Osasco, Pedra Bela, Pinhalzinho, Piracaia, Pirapora do Bom Jesus, Poá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Salesópolis, Salto, Santa Izabel, Santana de Parnaíba, Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, São Lourenço da Serra, São Paulo, São Roque, Suzano, Taboão da Serra, Tuiuti, Vargem Grande Paulista e Várzea Paulista.

Área 2: estado de São Paulo, excluídos os municípios contidos na área 1.

Área 3: estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo.

Área 4: estado de Minas Gerais.

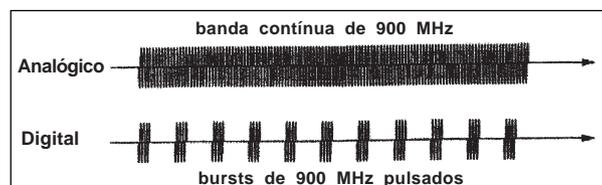


Figura 5 - Formas de onda de sinais transmitidos nos sistemas de telefonia celular analógico e digital.

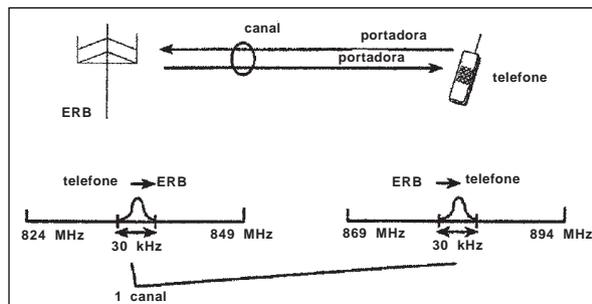


Figura 4 - Duas portadoras, uma em cada sentido, perfazem um canal de voz.

Área 5: estados do Paraná e Santa Catarina.

Área 6: estado do Rio Grande do Sul

Área 7: estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Rondônia, Acre e Distrito Federal.

Área 8: estados do Amazonas, Roraima, Amapá, Pará e Maranhão.

Área 9: estados da Bahia e Sergipe.

Área 10: estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas.

O Quadro 2 reúne empresas prestadoras de serviços de telefonia celular e respectiva banda de atuação existentes nas áreas de concessão mencionadas.

As áreas de concessão das prestadoras da banda "A" citadas no Quadro 2.

CETERP: municípios de Guataparã e Ribeirão Preto e Distrito de Bonfim Paulista, no estado de São Paulo.

CTBC TELECOM:

No estado de Minas Gerais: Araporã, Araújos, Campina Verde, Campo Florido, Campos Altos, Canápolis, Capinópolis, Carmo do Paranaíba, Carneirinhos, Centralina, Comendador Gomes, Conceição das Alagoas, Córrego Danta, Cruzeiro da Fortaleza, Frutal, Gurinhatã, Ibiraci, Igaratinga, Iguatama, Indai-nópolis, Ipiacu, Itapagipe, Ituiutaba, Iturama, Viçosa de Minas, Lagamar, Lagoa Formosa, Lagoa Grande, Limeira D'Oeste, Luz, Maravilhas, Moema, Monte Alegre de Minas, Monte Santo de Minas, Nova Ponte, Nova Serrana, Papagaios, Pará de Minas, Patos de Minas, Pedrinópolis, Pequi, Perdígão, Pirajuba, Planura, Prata, Presidente Olegário, Rio Paranaíba, Santa Juliana, Santa Vitória, São Francisco de Sales, São José da Varginha, Tupaciguara, Uberaba, Delta Uberlândia e Vazante.

No estado de São Paulo: Altinópolis, Aramina, Batatais, Brodósqui, Buritizal, Cajurú, Cássia dos Coqueiros, Colômbia, Franca, Guáira, Guará, Ipõa, Ituverava, Jardinópolis, Miguelópolis, Morro Agudo,

Nuporanga, Orlândia, Ribeirão Corrente, Sales de Oliveira, Santa Cruz da Esperança, Santo Antônio da Alegria e São Joaquim da Barra.

No estado de Mato Grosso do Sul: Paranaíba.

No estado de Goiás: Buriti Alegre, Cachoeira Dourada, Inaciolândia, Itumbiara, Paranaiguara e São Simão.

CTMR: Capão do Leão, Morro Redondo, Pelotas e Turuçú.

SERCOMTEL: município de Londrina, no estado do Paraná.

INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS EM MARCAPASSOS DEVIDO AO TELEFONE CELULAR

O campo eletromagnético gerado pelo telefone celular (analógico ou digital) pode ocasionar disfunções definitivas ou temporárias nos marcapassos cardíacos implantáveis⁶. A disfunção definitiva é a mudança dos parâmetros do programa do marcapasso e as temporárias ocorrem enquanto a fonte de interferência permanecer próxima do marcapasso, quando este poderá comportar-se de diferentes maneiras:

a) inibição, devidas a detecção de um potencial elétrico não-cardíaco.

b) deflagração ventricular, em marcapassos dotados de sensibilidade atrial, quando ocorre a detecção de um sinal intracardíaco atrial decorrente de um potencial elétrico não-cardíaco.

c) estimulação assíncrona, devida ao campo eletromagnético.

Através da antena, o telefone celular emite/recebe sinais de RF (ondas eletromagnéticas). Estes sinais geram um campo elétrico e um campo magnético, que podem variar em tamanho, forma e intensidade, de acordo com o formato da antena e a potência do aparelho. Geralmente, o campo elétrico localiza-se nas extremidades da antena, enquanto que o campo magnético localiza-se no centro deste⁴.

O campo magnético pode penetrar na pele induzindo um campo elétrico nos fluídos do corpo. A interação do campo eletromagnético gerado pelo telefone celular no marcapasso já foi esclarecida⁷. Se o campo eletromagnético for intenso o suficiente para penetrar no corpo, sofre atenuação exponencial, a depender da espessura do tecido. Se não for rejeitado por um filtro na entrada do gerador de pulsos elétricos, o sinal é demodulado por componentes não-lineares, como diodos Zener ou transistores, produzindo um sinal de baixa frequência, que alterará o funcionamento do marcapasso.

Os marcapassos atuais possuem proteção contra interferências eletromagnéticas, tais como a carcaça metálica (titânio), os filtros passa-baixas e os algoritmos que identificam sinais de interferência. Uma vez sob influência de fontes de interferência, essas proteções irão proporcionar um funcionamento previsível do aparelho.

ESTUDOS REALIZADOS SOBRE A INTERFERÊNCIA DA TELEFONIA CELULAR SOBRE OS MARCAPASSOS

Embora existam poucos relatos de efeitos adversos com telefonia celular analógica e experimentos que sugerem que estes aparelhos são seguros para portadores de marcapasso⁸, há uma crescente preocupação e evidências de estudos *in vitro*⁹⁻¹¹ de que a tecnologia digital têm um maior potencial de interferência no funcionamento dos marcapassos do que a tecnologia analógica. Este fato, entre outros, é atribuído ao formato do sinal digital, em pulsos elétricos, que é transmitido por modulação em amplitude (AM), em contraste com sinais contínuos de frequência modulada (FM), transmitidos pelo modelo analógico.

Carrillo e colaboradores¹², através de um estudo preliminar em 59 pacientes não dependentes dos marcapassos, observaram que em 21 deles (35,6%) ocorreram interferências apenas quando o celular estava sobre o marcapasso e não quando da sua utilização próxima ao pavilhão auricular. De 170 testes realizados, ocorreram interferências em 39 (22,9%),

QUADRO 2
PRESTADORAS DOS SERVIÇOS DE TELEFONIA CELULAR E RESPECTIVA BANDA DE ATUAÇÃO

Área de Concessão	Banda A	Banda B
1	Telesp Celular	BCP
2	Telesp Celular (exclusive a área da CETERP e CTBC TELECOM)	Tess
3	Tele Sudeste Celular	ATL - Algar Telecom Leste
4	Telemig Celular (exclusive a área da CTBC TELECOM)	Maxitel
5	Tele Celular Sul (exclusive a área da SERCOMTEL)	Global Telecom
6	CRT (exclusive a área da CTMR)	Telet
7	Tele Centro-Oeste Celular (exclusive a área da CTBC TELECOM)	AMERICEL
8	Tele Norte Celular	em Licitação
9	Tele Leste Celular	Maxitel
10	Tele Nordeste Celular	BSE

sendo 8 em sistemas bipolares e 31 em unipolares, diferença que não se mostrou estatisticamente significativa. Tais resultados levaram os autores a concluir que pode ocorrer disfunção se o celular digital estiver a uma distância média de $1,4 \pm 0,6$ cm do marcapasso.

Hayes e colaboradores¹³, através de um estudo piloto com celulares digitais do sistema TDMA em 30 pacientes portadores de marcapasso, 21 deles de dupla-câmara, observaram que a interferência mais comum foi a deflagração ventricular. Dos celulares utilizados, o de maior potência (3 Watts) desencadeou maior número de interferências, quando comparado com outros de menor potência (0,6 Watt).

Barbaro e colaboradores¹⁴ pesquisaram as repercussões do sistema de telefonia celular digital europeu GSM em 101 pacientes, observando que apenas em 26 (25,7%) ocorreram interferências, quando o parâmetro de sensibilidade foi programado no valor mínimo (alta sensibilidade) e o celular foi colocado em contato direto com a pele do paciente na região acima do gerador de pulsos. Entretanto, não foram verificadas alterações dos parâmetros de programação. Dos 101 pacientes, 10 (9,9%) apresentaram inibição de pulsos. Dos 46 marcapassos programados em DDD ou VDD, 9 (19,6%) apresentaram deflagração ventricular. A estimulação assíncrona ocorreu em 4 (7,7%) dos 52 testes realizados. Em alguns casos, observaram comportamentos diversos utilizando o mesmo modelo de marcapasso em pacientes diferentes, com o mesmo celular, na mesma posição. Estes resultados não uniformes foram justificados em virtude da diferença na profundidade dos implantes, da dificuldade de precisar a posição do marcapasso, bem como da posição relativa da antena em relação ao eletrodo do marcapasso.

Hofgärtner e colaboradores¹⁵ estudaram a interferência dos sistemas analógicos e digitais alemães (C-net e D-net) em 104 pacientes, com 58 modelos diferentes de marcapassos. Dentre eles, 43 (41,3%) pacientes, utilizando 28 (48,3%) modelos de marcapassos, apresentaram interferências na forma de inibição, na estimulação assíncrona, na deflagração da taquicardia mediada por marcapasso (modo DDD), bem como na adaptação da frequência nos marcapassos dotados de termosensores. Concluíram que os portadores de marcapasso não devem utilizar o sistema de telefonia celular alemão (digital ou analógico). Entretanto, com as programações da sensibilidade e polaridade, os riscos de interferência podem ser reduzidos.

Naegeli e colaboradores¹⁶ pesquisaram as disfunções intermitentes causadas pela telefonia celular digital GSM em 39 pacientes, sendo 14 DDD, 8 VDD(R) e 17 VVI(R). Foram realizados testes com os celulares nos modos "stand-by", discagem e conver-

sação, em diferentes posições sobre o gerador de pulsos, na ponta do eletrodo atrial e ventricular. Nos marcapassos DDD e VDD ocorreram deflagrações ventriculares em 7 (2,8%) de 248 testes e inibição ventricular em 5 (2,8%) de 176 testes realizados. As interferências ocorreram quando foi utilizado um celular de maior potência, com o marcapasso programado com máxima sensibilidade. Em 14 aparelhos VVI(R) com polaridade programável, observaram que não ocorreu inibição ventricular em 112 testes realizados no modo bipolar. No modo unipolar, também em 112 testes, ocorreram 14 (12,5%) inibições. Em polaridade bipolar, verificaram a ocorrência de interferência apenas no nível atrial. Nenhum marcapasso apresentou disfunção de modo permanente ou alteração dos parâmetros programados.

Chen e colaboradores¹⁷ estudaram 29 pacientes portadores de marcapassos responsivos com diferentes sensores (ventilação por minuto, acelerômetro, intervalo QT e saturação de oxigênio), todos com polaridade programável. Os testes foram realizados com o celular (analógico e digital GSM), em diferentes posições: acima do gerador de pulsos, próximo ao ouvido, do mesmo lado do implante do marcapasso e no pavilhão auricular do lado oposto ao implante, em duas situações distintas: recepção e discagem de ligação. Verificaram a ocorrência de interferências apenas quando os celulares estavam posicionados sobre os geradores em 74(3,1%) de 2418 testes, realizados em 8 pacientes. Em 57% dos episódios, as interferências ocorreram antes e após os telefones tocarem. Durante os testes, não foram verificadas alterações na frequência dos marcapassos devidas ao sensor. Interferências eletromagnéticas ocorreram nos pacientes em que os marcapassos estavam programados com sensibilidade atrial em unipolar e em sistemas VDD(R). Concluíram que os telefones celulares representam um risco potencial para pacientes dependentes dos marcapassos, quando este é mantido próximo do marcapasso durante uma conversação.

Wilk e colaboradores¹⁸ estudaram a ocorrência de interferências em 45 pacientes portadores de pacientes (24 VVI e 21 DDD), utilizando um celular digital do sistema GSM (D-net). Não foram verificadas alterações da programação ou da estimulação assíncrona. Apenas 2 (4,4%) dos 45 apresentaram interferências, ambos com sensibilidade unipolar, assintomáticos e não-dependentes dos marcapassos.

Sparks e colaboradores¹⁹ observaram 16 pacientes com marcapassos com adaptações de frequência (12 DDDR e 4 VVIR), todos com sensor de ventilação por minuto, e verificam alterações na impedância intratorácica. Os testes foram realizados com a antena do telefone celular próxima ao gerador de pulsos e ao longo dos eletrodos, com e sem adaptação de frequência ativada. Apenas 5 marcapassos, expos-

tos ao celular digital do sistema GSM de 2 Watts de potência, apresentaram alteração frente à interferência eletromagnética. Após a remoção do celular, não foram verificadas alterações nas programações, como também não foram observadas alterações da frequência devidas ao sensor.

Nowak e colaboradores²⁰ acompanharam 31 pacientes com marcapassos VDD de eletrodo único, que devem ser programados com sensibilidade atrial alta. Foi utilizado um celular digital do sistema GSM (D-net), com potência de 2 Watts. Os testes foram realizados com a ponta da antena em contato direto com a pele (altura da clavícula), de maneira a deixar o celular em paralelo com o eletrodo. Embora todos os marcapassos estivessem programados na sensibilidade mais alta e com a polaridade ventricular unipolar, não ocorreram interferências e os parâmetros programados permaneceram inalterados após todos os testes.

Para melhor orientar o leitor sobre a terminologia empregada, apresentar-se-á a seguir, um glossário dos termos utilizados neste trabalho:

FDMA (Frequency Division Multiple Access): acesso múltiplo por divisão de frequências.

CDMA (Code Division Multiple Access): acesso múltiplo por divisão de códigos.

TDMA (Time Division Multiple Access): acesso múltiplo por divisão de tempo

AMPS (Advanced Mobile Phones Systems): sistema analógico de telefonia celular.

NADC (North America Digital Cellular): sistema digital utilizado na América do Norte.

US TDMA (United States Time Division Multiple Access): acesso múltiplo por divisão de tempo utilizado nos Estados Unidos da América.

GSM (Groupe System Mobile): sistema digital utilizado na Europa e Austrália.

Bit: dígito binário, um bit pode representar apenas dois estados: 0 ou 1.

Bps: bits por segundo, uma medida da velocidade com que equipamentos digitais podem transferir dados na forma de bit.

Analógico: termo utilizado para aparelhos eletrônicos que trabalham com variações contínuas de sinais elétricos.

Digital: relativo a valores que são pré-determinados. A cada passo, nível ou patamar está associado um número inteiro, ou um dígito. O termo digital é sinônimo de informação representada por bits, ou seja, informação digital binária.

Digitalizar: processo pelo qual se transforma informação analógica em digital.

Banda A: faixas de frequências destinadas à telefonia celular, que são exploradas por operadoras públicas.

Banda B: faixas de frequências destinadas à telefonia celular, que são exploradas pela iniciativa privada.

ERB (Estação Rádio Base): são os equipamentos que fazem conexão, por ondas de rádio, com os telefones celulares.

Portadora: onda de rádio modulada por algum tipo de informação, segundo um método científico. Conhecendo o método, é possível retirar informação dessa onda de rádio, cuja característica principal é a sua frequência.

Frequência: a medida que indica quão frequentemente um evento periódico ocorre, geralmente medida em Hertz.

Interferência: refere-se a qualquer emissão, irradiação, indução ou ruído eletromagnético que interrompa, perturbe ou degrade sinais.

Modulação: processo pelo qual se alteram as características de uma onda (de rádio ou elétrica), de forma que as alterações representem informações significativas para o ser humano ou para uma máquina. A modulação pode alterar a amplitude (modulação em amplitude, AM) ou a frequência da onda (modulação em frequência, FM).

DISCUSSÃO

A discrepância nos resultados dos estudos mencionados deve-se à complexidade da interação marcapasso-celular, que possui muitas variáveis que devem ser consideradas²¹, como por exemplo, as especificadas a seguir:

a) marcapasso utilizado: unicameral ou bicameral, geometria da carcaça e cabeçote do gerador de pulsos variáveis de acordo com o modelo utilizado, diferentes parâmetros de programação de sensibilidade e polaridade;

b) sistema de telefonia celular vigente: apesar dos modelos de marcapassos produzidos possuírem uma distribuição mundial, diferentes sistemas de telefonia celular digital são adotados nos diversos países;

c) telefone celular utilizado: diferentes modelos, possuindo potência máxima de transmissão e formatos de antena variáveis;

d) posicionamento do celular em relação ao marcapasso: a posição do celular em relação ao marcapasso determina a probabilidade de ocorrência da interferência, e

e) local de realização dos testes: a potência de transmissão do celular é regulada e controlada pela ERB mais próxima, de maneira a utilizar a menor energia possível.

Não há, até o momento, relatos na literatura de estudos *in vitro* nos quais ocorreram disfunções permanentes dos parâmetros de programação dos marcapassos. Nos estudos *in vivo* citados, todos os marcapassos que sofreram algum tipo de interferência retornaram ao seu funcionamento normal, sem alteração da programação.

Observou-se que as interferências ocorreram principalmente quando a ponta da antena está posicionada sobre o conector do marcapasso.

O telefone celular analógico pode ser considerado mais seguro para o portador de marcapasso do que o telefone digital, pois este último possui uma transmissão/recepção de sinais altamente variável, aumentando a probabilidade de interferência.

A densidade de ERB na Europa é muito menor do que nos Estados Unidos, motivo pelo qual os celulares digitais do sistema europeu GSM possuem maior potência de transmissão⁴. Este sistema possui um modo de transmissão exclusivo (DTX), que atua em baixas frequências (217, 8,3 e 2,2 Hz)¹⁴ e que, aliado à alta potência do celular utilizado, aumenta a potencialidade das interferências sobre os marcapassos.

Quanto à programação, muitos marcapassos somente apresentaram suscetibilidade a algum tipo de interferência quando programados com alta sensibilidade e polaridade unipolar.

A alta sensibilidade atrial nos marcapassos VDD aumentou a incidência de interferência nos estudos realizados por Chen¹⁷. Estes resultados contradizem aqueles obtidos por Nowak²⁰, que utilizou apenas marcapassos com eletrodo único (VDD) e sensibilidade atrial programada para 0,1 mV, não observando interferências nos 31 pacientes estudados. Tal fato pode ser explicado pela posição do celular em relação ao marcapasso durante os testes. Enquanto Chen posicionou o celular acima do marcapasso,

Nowak localizou a ponta da antena do celular de forma que esta encostasse na pele do paciente logo abaixo da clavícula direita, em paralelo com o eletrodo VDD, o que gera uma variação, visto que diferentes pacientes possuem diferentes estaturas e posicionamento do marcapasso. A localização do gerador no paciente pode reduzir a ocorrência de interferência, motivo pelo qual muitos geradores implantados abaixo do músculo peitoral são menos susceptíveis⁷.

CONCLUSÃO

O risco de interferências devidas à utilização do telefone celular analógico ou digital ainda não foi totalmente esclarecido. Portanto, novos estudos ainda deverão ser realizados pois, ao mesmo tempo em que há uma grande e rápida evolução nas tecnologias dos telefones celulares, também os marcapassos cardíacos implantáveis encontram-se em constante evolução. Conseqüentemente, não se pode dar orientações definitivas aos pacientes.

Entretanto, recomenda-se que os portadores de marcapassos, principalmente aqueles totalmente dependentes, tomem as seguintes precauções:

- a) utilizem o celular no lado oposto ao local de implante do marcapasso (contralateral);
- b) evitem carregar o celular no bolso próximo ao marcapasso, e
- c) evitem posicionar a antena do celular, quando em conversação, próxima ao marcapasso.

AGRADECIMENTOS

Às Srtas. Adriana Rosa, Sonia Rolim e Andréia Araujo pela revisão gramatical e apresentação deste trabalho.

Reblampa 78024-265

Oliveira Jr. Z. Zarza R Q. Lee M F. Menegola F A. Nunes C A S. Annunziato L R A. Costa A M. Cellular phone interference with permanent cardiac pacemakers. Reblampa 2000; 13(2): 77-85.

ABSTRACT: Technological progress brings new devices which are potential sources of electromagnetic interference with artificial pacemakers. The principal objective of this work is to explain to professionals who act in this area, the potential interference risks with pacemakers due to analogic and digital cellular phones, so that patients could be oriented about these risks.

DESCRIPTORS: artificial pacemakers, cellular phones, interference.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Ferreira A S A. Horvath A R. Pivotto L G. Interferências eletromagnéticas em portadores de marcapasso. *Reblampa* 1988; 1(1): 39-46.
- 2 Smith S. Assen R. The effects of electromagnetic fields on cardiac pacemakers. *IEE Transactions on Broadcasting* 1992; 38: 136-9.
- 3 Gauch P R A. Halperin C. Galvão Filho S S. et al. Orientações a respeito das interferências sobre marcapassos cardíacos. *Reblampa* 1997; 10(1): 4-12.
- 4 Hayes D L. Carrillo R G. Findlay G K. Embrey M. Pacemaker and defibrillator interference from wireless communication devices. *PACE* 1996; 19: 1419-30.
- 5 ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações. Serviço Móvel Celular [Online]. Disponível: <http://anatel.gov.br> [1999, January 5].
- 6 Mateos J C P. Cardinalli Neto A. Machado J R A. et al. A interferência do telefone celular sobre os marcapassos permanentes. *Reblampa* 1996; 9(1): 32-6.
- 7 Irnich W. Mobile telephones and pacemakers. *PACE* 1996; 19: 1407-9.
- 8 Hayes D L. Vonfeldt L K. Neubauer S A. Rasmussen M J. Christiansen J R. Does cellular phone technology cause pacemaker or defibrillator interference? *PACE* 1995; 18: 842.
- 9 Irnich W. Batz L. Müller R. Tobisch R. Störbeeinflussung von Herzschrittmacher 1995; 15: 5-20.
- 10 Barbaro V. Bartolini P. Donato A. et al. GSM cellular phones interference with implantable pacemakers: in vitro observations. *Proceedings of the V International Symposium on Biomedical Engineering* 1994; 275-6.
- 11 Schlegel R E. Raman S. Grant F H. et al. In-vitro study of the interaction of cellular phones with cardiac pacemakers [Online]. Available: <http://funsan.biom.mcgill.ca/funnell/embc95/cd/texts/995.htm> [1999, February 17].
- 12 Carrillo R. Saunkeah B. Pickls M. et al. Preliminary observations of cellular telephones and pacemakers. *PACE* 1995; 18: 863.
- 13 Hayes D L. Vonfeldt L. Neubauer S. et al. Effect of digital cellular phones on permanent pacemakers. *PACE* 1995; 18: 863.
- 14 Barbaro V. Bartolini P. Donato A. et al. Do European GSM mobile cellular phones pose a potential risk to pacemaker patients? *PACE* 1995; 18: 1218-24.
- 15 Hofgartner F. Müller T H. Sigel H. Do mobile phones in the (analog) C and (digital) D network pose a potential risk to patients with implanted cardiac pacemaker? *Deutsche Medizinische Wochenschrift* 1996; 121: 646-52.
- 16 Naegeli B. Osswald S. Deola M. Burkart F. Intermittent pacemaker dysfunction caused by digital mobile telephones. *Journal of the American College of Cardiology* 1996; 27: 1471-7.
- 17 Chen W H. Lau C P. Leung S K. Ho D S W. Lee I S F. Interference of cellular phones with implanted permanent pacemakers. *Clinical Cardiology* 1996; 19: 881-6.
- 18 Wik A. Grimm W. Funck R. Maisch B. Influence of D-Net (European GSM-Standard) cellular phones on pacemaker function in 50 patients with permanent pacemakers. *PACE* 1996; 19: 1456-8.
- 19 Sparks P B. Mond H G. Joyner K H. Wood M P. The safety of digital mobile cellular telephones with minute ventilation rate adaptive pacemakers. *PACE* 1996; 19: 1451-5.
- 20 Nowak B. Rosocha S. Zellerhoff C. et al. Is there a risk for interaction between mobile phones and single lead VDD pacemakers? *PACE* 1996; 19: 1447-50.
- 21 Hayes D L. Wireless phones and pacemaker interaction. *PACE* 1996; 19: 1405-6.