

Bobinas de RF Transmissoras/Receptoras com desacoplamento passivo para experimentos de imagens por RMN em pequenos animais

RF Transmitter/Receiver Coils with passive decoupling for MRI experiments on small animals

Daniel Papoti, Edson L.G. Vidoto, Mateus J. Martins, Alberto Tannús

Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo (IFSC/USP) – São Carlos (SP), Brasil

Resumo

Este estudo descreve o desenvolvimento e caracterização de bobinas transmissoras e receptoras de radiofrequência (RF) específicas para a realização de experimentos de Imagens por Ressonância Magnética Nuclear (IRMN) em pequenos animais. As geometrias de bobinas transmissoras estudadas foram os ressoadores tipo gaiola (*Birdcage coil*) com 8 e 16 elementos condutores e a bobina tipo Sela Duplamente Cruzada (*Double Crossed Saddle - DCS*), onde o Birdcage-16 se mostrou superior na produção de campo magnético homogêneo. Na recepção, a geometria construída foi uma bobina de superfície do tipo *Loop* específica para a obtenção de imagens do córtex de ratos.

Palavras-chave: Imagens por RMN, Bobinas de RF, Desacoplamento passivo, instrumentação.

Abstract

This study describes the development and characterization of RF transmitters and receivers coils specific designed to MRI experiments on small animals. The geometries of the transmitter coils studied were the Birdcage with 8 and 16 legs and the Double Crossed Saddle (DCS Coils). Among these geometries, the Birdcage-16 is superior in producing homogeneous magnetic field. In reception, the geometry built was a surface coil specific to obtain cortex images from mice.

Keywords: Magnetic Resonance Imaging, RF Coils, Passive Decoupling, instrumentation.

Introdução

Em experimentos de IRMN, normalmente diferentes geometrias de bobinas de RF são utilizadas para a transmissão e recepção do sinal de RF. Isso ocorre devido à necessidade de se obter máxima Relação Sinal Ruído (RSR) durante cada experimento, de modo que em experimentos envolvendo animais onde as dimensões envolvidas são bem menores do que em humanos, essa necessidade se torna ainda mais crítica. Dessa forma, o desenvolvimento de diferentes geometrias de bobinas de RF para operar como transmissoras e receptoras são fundamentais.

Durante o processo de transmissão da RF, a principal característica de uma bobina transmissora é a capacidade de produzir um campo magnético com alta homogeneidade dentro de uma dada região de Interesse (RI). As geometrias que satisfazem muito bem esta condição são os ressoadores do tipo Birdcage¹ e também as bobinas do tipo sela². Além de alta homogeneidade de campo, as

bobinas transmissoras devem funcionar apenas durante a fase de transmissão da RF, estando desativadas durante o processo de recepção do sinal. Isso pode ser feito de forma ativa, utilizando-se diodos PIN ou de forma passiva, utilizando neste caso, pares de diodos cruzados ao longo da estrutura da bobina.

No processo de recepção do sinal, a principal característica das bobinas deve ser a alta sensibilidade ao sinal produzido pela amostra, ou seja, deve possuir uma alta RSR. Neste caso, as geometrias de bobinas variam de acordo com a anatomia de interesse, de modo que para estruturas próximas a superfície, é comum a utilização das chamadas bobinas de superfície (*surface coils*), que são basicamente *loops* construídos em placas de circuito impresso ou mesmo de fios condutores com algumas voltas, com dimensões próximas as dimensões estudadas e sintonizadas na frequência de interesse. Também se torna necessário o desacoplamento das bobinas receptoras, mas neste caso durante o processo de

Correspondência: Daniel Papoti – Grupo de Ressonância Magnética-Instituto de Física de São Carlos-USP – Avenida Trabalhador São Carlense, 400 – Caixa Postal, 369 – São Carlos (SP), Brasil – E-mail: papoti@if.sc.usp.br

transmissão da RF. Isso é feito utilizando-se um circuito ressonante em paralelo com a bobina e sintonizado na mesma frequência de operação que é acionado apenas durante o processo de transmissão. O acionamento deste circuito também pode ser feito com diodos PIN (desacoplamento ativo) ou utilizando um par de diodos cruzados (desacoplamento passivo³).

Neste trabalho descrevemos o desenvolvimento e caracterização de três geometrias de bobinas transmissoras e de uma bobina de superfície, ambas com desacoplamento passivo durante a transmissão e recepção.

Material e métodos

Três geometrias de bobinas transmissoras de RF foram construídas, sendo um Birdcage com 8 condutores, um Birdcage com 16 condutores e uma DCS Coil. Todas as bobinas foram construídas utilizando-se fitas de cobre de 0.3 mm de espessura como condutores, montados sobre estruturas de PVC com 200 mm de comprimento e 100 mm de diâmetro. O mapa de campo de RF das bobinas foi medido experimentalmente ponto a ponto utilizando uma bobina de pick-up feita de cabo coaxial RG-223 terminada em 50 Ω para casamento de impedância e comparado com o perfil de campo gerado através de

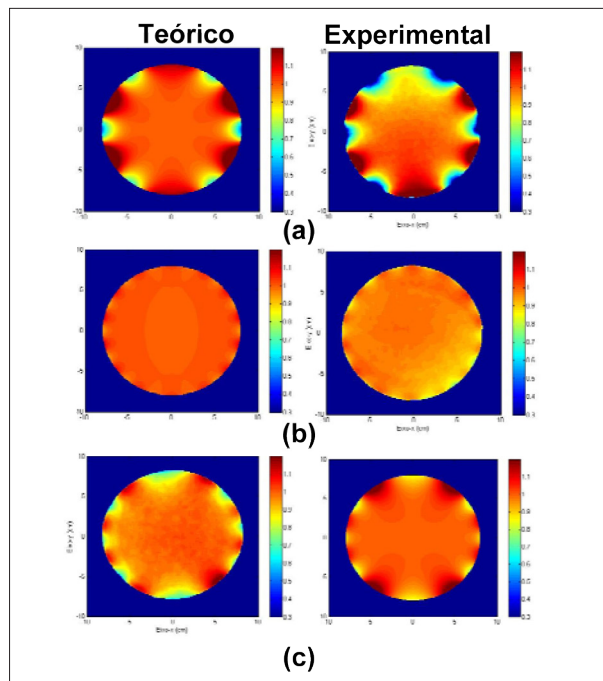


Figura 1. Mapas de campo de RF teóricos e experimentais para (a) Birdcage-8. (b) Birdcage-16. (c) DCS Coil.

Tabela 1. Valores da NU obtidos para as bobinas transmissoras

| Bobina | Teórico | Experimental |
|-------------|---------|--------------|
| Birdcage-8 | 10.98 | 18.24 |
| Birdcage-16 | 1.18 | 4.02 |
| DCS Coil | 5.92 | 9.01 |

simulações baseadas na Lei de Biot-Savart. Outro método utilizado para avaliação da homogeneidade de campo foi através de experimentos de imagens, conhecido como *Compensated Double Angle Method* (CDAM⁴), também comparado com os mapas de campo gerados através de simulações. O parâmetro utilizado para quantificar a homogeneidade das bobinas foi a Não Uniformidade (NU) dentro de uma RI de 80% do diâmetro interno das bobinas, dada por:

$$NU = \frac{\text{Desvio Padrão}}{\text{Média}} \quad (1)$$

Para o desacoplamento das bobinas durante a recepção foram utilizando pares de diodos cruzados em série com a bobina.

A bobina utilizada como receptora foi construída utilizando-se fio de cobre com 1.6 mm de diâmetro, sendo um loop com duas voltas com diâmetro de 20 mm. Essas são as dimensões necessárias para experimentos de IRMN do córtex de ratos. O desacoplamento durante a recepção foi feito utilizando-se diodos em série com o circuito ressonante, permitindo assim o desacoplamento da bobina durante a fase de transmissão. Para a medida da RSR da bobina, um phantom esférico de 36 mm de diâmetro preenchido com solução de água e sulfato de cobre com concentração de 5 mM foi utilizado.

Imagens “*in vivo*” com grande campo de visão (*FOV-Field of View*) foram obtidas com as bobinas transmissoras, operando como transmissoras e receptoras simultaneamente, para análise de artefatos relacionados a não homogeneidade de campo. Também foram obtidas imagens “*in vivo*” da bobina DCS como transmissora e da bobina de superfície como receptora para análise da RSR e da eficiência no desacoplamento passivo das bobinas.

Resultados

A figura 1 mostra os mapas de campo de RF teóricos e os obtidos experimentalmente.

Como podemos observar de acordo com a figura 1 e tabela 1, o Birdcage-16 é a melhor bobina em termos de homogeneidade de campo magnético de RF.

As imagens “*in vivo*” obtidas com grande FOV de ratos (ver figura 2) confirmam essa superioridade, uma vez que não foram observados artefatos devido a não homogeneidade de campo magnético.

Os resultados obtidos com a bobina de superfície mostram uma baixa RSR (RSR=46). Imagens *in vivo* obtidas com essa bobina confirmam a baixa eficiência na recepção desta bobina, como mostra a figura 3.

Discussão e conclusões

Os resultados obtidos com as bobinas transmissoras indicam que o Birdcage-16 é o mais eficiente em termos de

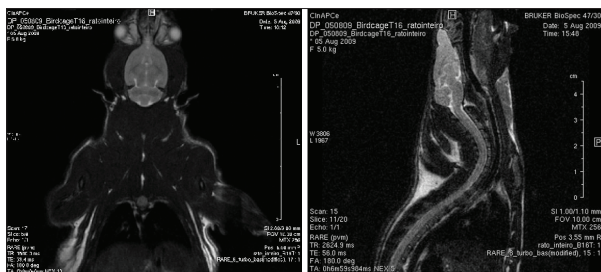


Figura 2. Imagens in vivo de rato com FOV=10 cm x 10 cm obtidas utilizando o Birdcage-16.

homogeneidade de campo, sendo, portanto, o mais indicado para operar como bobina transmissora dentro a geometrias estudadas. No entanto o elevado número de capacitores em sua estrutura torna mais difícil o desacoplamento passivo utilizando diodos cruzados. Isso faz com que a bobinas DCS seja uma boa opção, uma vez que esta é a segunda melhor em termos de homogeneidade de campo e possui poucos capacitores ao longo de sua estrutura.

Já os resultados obtidos com a bobina de superfície sugerem uma melhora na RSR. Isso pode ser obtido através do aumento da indutância da bobina através do aumento no número de voltas, o que aumentaria o seu fator de qualidade e conseqüentemente sua RSR.

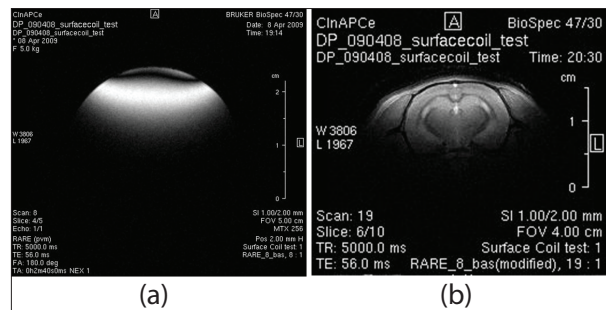


Figura 3. Imagens obtidas com a bobina de superfície (a) de um Phantom esférico. (b) In vivo da cabeça de um rato

Referências

1. Hayes CE, Edelstein WA, Schenck JF, Mueller OM, Eash M. An Efficient, Highly Homogeneous Radiofrequency Coil for Whole – Body NMR at 1.5 T. *Journal of Magnetic Resonance*, 1985;63(63):622-8.
2. Papoti D, Vidoto ELG, Martins MJ, Tannús A. Efeitos de cruzamentos nos condutores de uma bobina tipo Sela: comprimento elétrico X indutância mútua. Apresentado no XI Congresso Brasileiro de Física Médica, Ribeirão Preto, 2006.
3. Edelstein WA, Hardy CJ, Mueller OM. Electronic Decoupling of surface-Coils Receivers for NMR Imaging and Spectroscopy. *Journal of Magnetic Resonance*. 1986;67:156-61.
4. Stollberger R, Wach P. Imaging of the Active B1 Field in Vivo. *Magnetic Resonance in Medicine*, 1996;35(2):246-51.