

Princípios físicos da estimulação magnética transcraniana

Magnetic Stimulation: Physical and Technical Aspects

MARCOS NOGUEIRA MARTINS¹

Resumo

Este trabalho descreve brevemente os principais aspectos da física e da tecnologia envolvidos no processo de estimulação magnética. Apresenta a lei de indução de Faraday e descreve como um pulso de campo magnético, intenso e rápido, tem condições de gerar campos elétricos localizados, adequados à produção de correntes elétricas em determinados tecidos. Discute-se, também, como a geometria da bobina e o perfil temporal dos pulsos de corrente que a percorrem, são usados para otimizar a distribuição e intensidade dos campos elétricos induzidos.

Palavras-chave: Indução magnética; pulso; corrente elétrica; bobina; campo elétrico.

Abstract

This work presents a brief discussion of the physics and technology of magnetic stimulation. From Faraday's law of induction we describe how a fast and intense pulse of magnetic field may produce localized electric fields, suitable to generate electric currents in certain tissues. We discuss how the coil geometry, and the time profile of the pulse of current may be used to optimize the distribution and intensity of the induced electric fields.

Keywords: Magnetic induction; pulse; electric current; coil, electric field.

Introdução

A estimulação magnética baseia-se em um princípio físico descrito por Michael Faraday¹ para a *Royal Society* (Londres) em 1831. As medidas de Faraday permitiram a observação do que se convencionou chamar de indução magnética. Trata-se da geração de uma força eletromotriz sobre um enrolamento quando ele é atravessado por um campo magnético variável. A Figura 1 (do original de Faraday) mostra a montagem de Faraday. Com esse experimento, Faraday mostrou que a variação da corrente no circuito *A* gerava uma corrente no circuito *B*, que estava elétrica-

mente isolado de *A*. Faraday percebeu que o responsável pela indução era o campo magnético gerado pelo circuito *A*, que atravessava o circuito *B*. Daí a importância, nessa experiência, da argola de ferro; a mesma experiência, realizada com uma argola de material não-magnético (madeira, plástico), apresentaria efeitos muito pequenos, de difícil detecção.

Um aspecto importante do ponto de vista da aplicação prática da estimulação magnética é que a indução magnética se dá independentemente da montagem ou do meio material existente. Ou seja, mesmo no vácuo, a variação temporal do campo magnético gera o aparecimento de um campo elétrico, processo

Recebido: 12/09/2004 - Aceito: 01/10/2004

¹ Instituto de Física da Universidade de São Paulo (USP).

Endereço para correspondência: Laboratório do Acelerador Linear, Instituto de Física da USP, CP 66318, 05315-970, São Paulo, SP, Brasil. e-mail: martins@if.usp.br

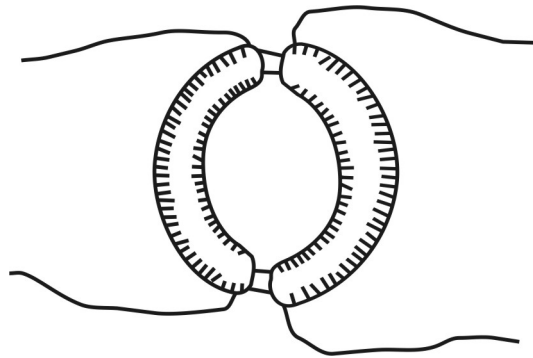


Figura 1. Argola de ferro com enrolamentos, A e B, de fio de cobre, isolados entre si.

que dá origem às ondas eletromagnéticas. No caso da aplicação médica, o que se procura fazer é criar um pulso de campo magnético intenso na região a ser tratada. A rápida e intensa variação do campo magnético gera uma força eletromotriz naquela região, provocando o aparecimento de correntes elétricas, caso o meio seja condutor elétrico.

Do ponto de vista prático, o que se busca, então, é produzir um pulso de campo magnético o mais intenso e localizado possível, de forma a conseguir atuar em regiões específicas do corpo. Como o processo é indutivo, não há necessidade de procedimentos invasivos para a instalação de eletrodos ou outros componentes. A Figura 2 mostra de forma esquemática as linhas de campo magnético produzidas por uma bobina circular na qual passa uma corrente elétrica. O campo magné-

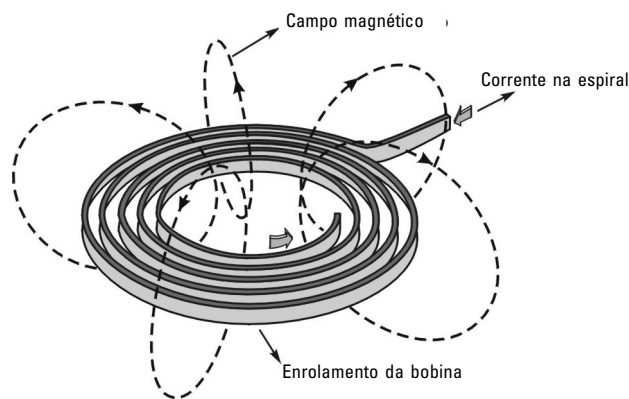


Figura 2. Desenho esquemático de uma bobina circular por onde passa uma corrente elétrica. As linhas pontilhadas ilustram a direção do campo magnético gerado.

tico produzido varia no espaço, sendo mais intenso na região em torno do enrolamento da bobina. A Figura 3 mostra o perfil de campo magnético produzido por uma bobina circular, no plano da bobina. O valor máximo do campo ocorre próximo da espira interna da bobina.

Um aspecto importante do processo diz respeito à variação temporal da intensidade de campo. Isso porque a força eletromotriz produzida é proporcional à variação temporal do campo magnético. Dessa forma, para maximizar as correntes induzidas no tecido a ser tratado, é necessário produzir uma variação significativa do campo magnético na região de interesse (e o mínimo possível fora dela).

Os instrumentos utilizados para gerar os pulsos necessários para produzir estímulos intracranianos são constituídos basicamente de duas partes: um gerador de pulsos de corrente (tipicamente alguns milhares de amperes) e uma bobina, responsável por transformar o pulso de corrente em um pulso de campo magnético (com intensidade típica de 1 T). A Figura 4 mostra a variação temporal típica desses parâmetros, mostrando também a taxa de variação do campo magnético (responsável pela indução do campo elétrico) e o campo elétrico induzido. Esse campo elétrico é o responsável por gerar correntes elétricas nos tecidos, produzindo estímulos análogos àqueles produzidos com estimulação elétrica convencional.

A rapidez do pulso é importante por várias razões: primeiro porque o campo elétrico induzido é proporcional à taxa de variação do campo magnético, portanto, uma alteração rápida neste aumenta a indução daquele. Além disso, dada a intensidade elevada das correntes, a rapidez também é importante para preservar a integridade da bobina, pois a energia dissipada pela passagem da corrente é muito elevada. Como a bobina não pode ter grandes dimensões, para manter

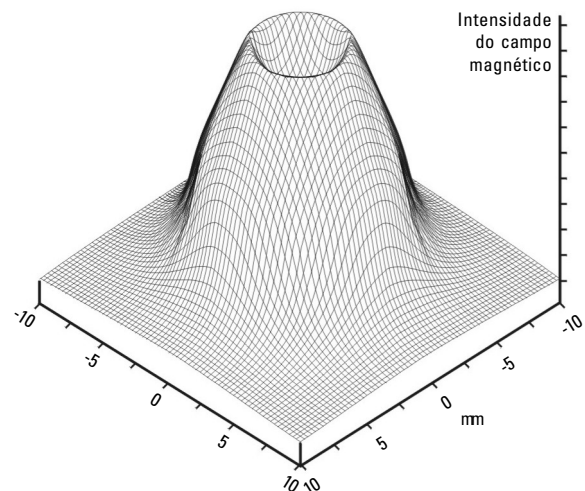


Figura 3. Perfil da intensidade do campo magnético produzido por uma espira circular, no plano da espira.

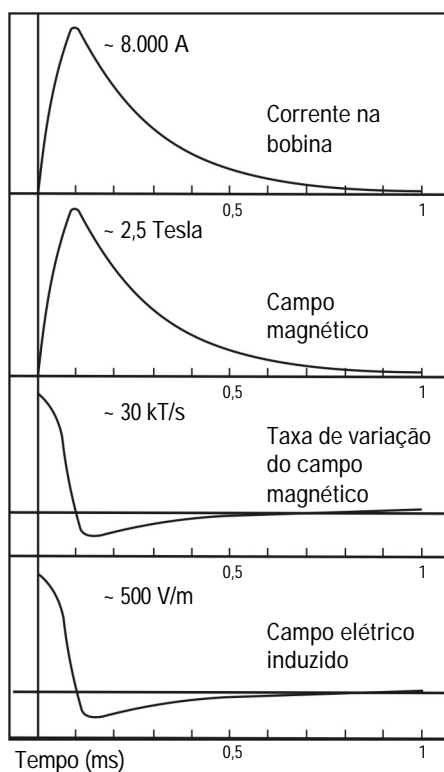


Figura 4. Evolução temporal do pulso de corrente na bobina; do campo magnético produzido; da taxa de variação do campo magnético; e do campo elétrico induzido.

restrita a região submetida ao estímulo, o calibre da fiação não pode ser muito grande, fazendo com que as perdas ôhmicas sejam elevadas, provocando o aquecimento da bobina. Assim, um pulso de curta duração evita o superaquecimento – e conseqüente rompimento – da fiação da bobina.

A geometria da bobina é projetada de forma a confinar a região de campo intenso, permitindo que o responsável pelo tratamento controle a região a ser estimulada. Assim, existem comercialmente bobinas com configurações mais complexas que a circular, procurando melhorar o foco da distribuição de campo magnético. A Figura 5 mostra a distribuição de campo de um conjunto composto por duas bobinas coplanares, com seus enrolamentos tangentes. Essa configuração elimina o mínimo de intensidade de campo presente na distribuição de uma bobina única (veja Figura 3), aumentando a intensidade do campo nessa região. Com isso, consegue-se um confinamento maior da região submetida a campos elétricos intensos, como pode ser visto na Figura 6, que compara os perfis de

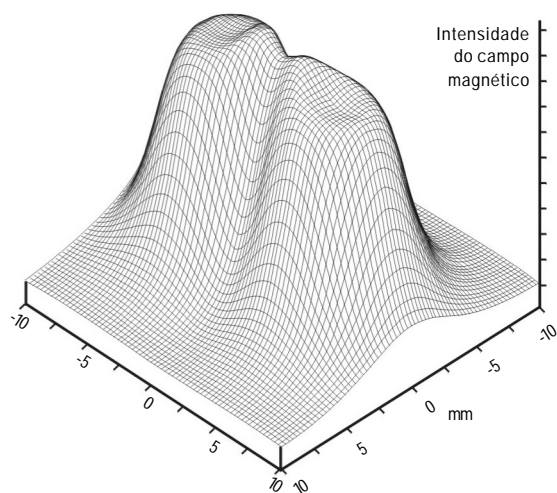


Figura 5. Perfil da intensidade do campo magnético produzido por uma bobina formada por duas espiras circulares.

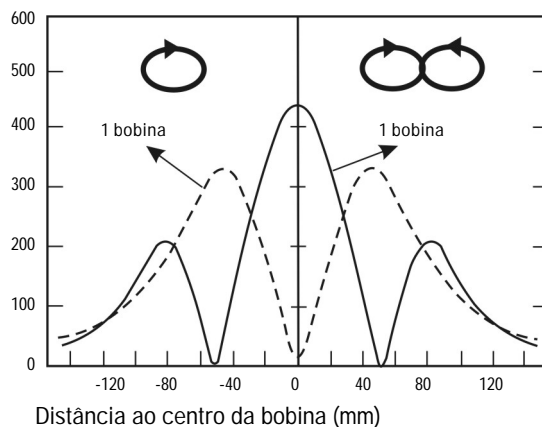


Figura 6. Perfil em corte da intensidade de campo elétrico induzida no plano da bobina para duas diferentes configurações: enrolamento simples (curva tracejada) e enrolamento duplo (curva cheia).

intensidade de campo elétrico induzido no plano da bobina, para duas configurações de geometria: bobina simples e bobina dupla. Pode-se notar que a região em torno do eixo da bobina, que apresenta um mínimo da intensidade de campo elétrico induzido no caso da bobina simples, apresenta um máximo pronunciado na bobina dupla. Com isso, consegue-se restringir a região submetida ao estímulo eletromagnético na região em torno do eixo da bobina.

Referências bibliográficas

1. FARADAY, M. *Philosophical Transactions*. 1832, p. 125.