原 著 (研究速報)

脂肪を過熱しない新しい誘電型深部加温方法

加藤博和^{1),2)} 古川雅彦¹⁾ 内田伸恵¹⁾笠井俊文¹⁾ 石田哲哉¹⁾

1) 鳥根医科大学放射線医学教室

2) 鳥根医科大学附属実験実習機器センター

A New Capacitive Type Heating Method

Inducing Less Heat in Fat Layers

Hirokazu Kato^{1),2)}, Masahiko Furukawa¹⁾, Nobue Uchida¹⁾Toshifumi Kasai¹⁾ and Tetsuya Ishida¹⁾

1) Department of Radiology, Shimane Medical University

2) Central Research Laboratories, Shimane Medical University

Summary

We propose a new capacitive type heating method using distributed electrodes. Many capacitive type electrodes are arranged on boli, below which the heating material is placed. Proper potentials are applied to them so as to minimize the SAR in the fat layer of the heating material. SAR distributions in a model consisting of fat, muscle and fat layers are calculated with the finite element method. The results show that the SAR at the mid-point of the muscle layer is greater than that in the fat layer.

Key words:

分布電極	Distributed electrodes
誘電型加温	Capacitive type heating
深部加温	Deep heating
脂肪層	Fat layer

はじめに

深部腫瘍の加温方法として1対の大きな電極を用いた誘電型加温方法がある¹⁾。この方法では、被加温体が均質であるとき深部まで均一に加温することができる。しかし、電極と筋肉の間に脂肪層があると、脂肪層における発熱は筋肉における発熱より1桁大きくなる。ここで提案する分布電極を用いた誘電型加温方法では多数の電極を人体外側に配置し、それらに異なった高周波電圧を与えるものである。電圧の値を適当に選ぶことにより

皮下脂肪の過剰発熱を避けると共に深部の SAR を大きくするものである。この加温方法における発熱分布を有限要素法を用いて検討した。

I. 加温原理

ここで提案する分布電極を用いた誘電型加温方法の原理を Fig.1 に示す。図2は2次元モデルであり、平板状の多数の電極を人体の外側に配置するか、若しくは多数のリング状の電極の中に人体を挿入する。そして各々の電極に適当な振幅と位

の高周波電圧を印加する。

Fig. 1 Heating method using distributed electrodes

相の高周波電圧を印加する。

II. 計算モデル

Fig. 2 に計算に用いた2次元モデルを示す。モデルは高さ 80 cm, 幅 30 cm であり, bolus, 脂肪, 筋肉から構成されている。bolus, 脂肪, 筋肉の厚みは, それぞれ 3.8 cm, 3.8 cm, そして 15 cm である。計算に用いた bolus 及び筋肉の電氣的・

熱的定数は, 導電率 σ が 0.62 S/m, 誘電率 ϵ が 149, 密度 ρ が $1.07 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ である。脂肪については σ が 0.06 S/m, ϵ が 30, そして ρ が $0.94 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ である。モデルを 256 個の3角形要素に分割し, 145 個の節点の電位を有限要素法によって求めた。電極で与えられる節点の電位は, 節点A, A' では $\phi = 30 \cos(2\pi ft)$, 節点B, B' では $\phi = 25 \cos(2\pi ft)$, 節点C, C' では $\phi = 13$

Fig. 2 Two-dimensional model used in the calculation and calculated SAR distribution in W/kg

$\cos(2\pi ft)$, 節点 D, D' では $\phi = -13 \cos(2\pi ft)$, 節点 E, E' では $\phi = -25 \cos(2\pi ft)$, そして節点 F, F' では $\phi = -30 \cos(2\pi ft)$ とした. ここで, ϕ は電位 [V], t は時間 [sec] であり, f は周波数 [Hz] である. 計算は $f = 13.56$ MHz で行った.

電位は Laplace の方程式 $\text{div}(\sigma \text{grad} \phi) = 0$ を解くことによって得た. 電流密度 J は $-\sigma \text{grad} \phi$ から導いた. 更に SAR は $\text{SAR} = |J|^2 / 2\sigma\rho$ より得た.

III. 計算結果

Fig. 2 に計算結果の SAR を示す. 脂肪層における SAR の最大値は 1.8 W/kg となり, 筋肉における SAR の最大値は 2.1 W/kg となり, 筋肉の中心部における SAR は 1.9 W/kg となった.

IV. 考 察

多数の電極を人体表面に配置し, それらに適当な電位を与える分布電極を用いた誘電型加温方法を提案した. そしてこの方法における発熱分布を有限要素法を用いて検討した. 計算結果は, 皮下脂肪の厚みが 3.8 cm であるにも関わらず, 皮下脂肪における SAR より身体深部における SAR の方が大きな値を示した. 分布電極を用いた誘電型加温は, 皮下脂肪を過剰に加温することなく深部を効果的に加温することがモデル計算によって示された.

文 献

- 1) 加藤博和: ハイパーサーミア教育講座 I - 3 - 誘電型加温技術 -, 日本ハイパーサーミア誌 7 : 1 - 22, 1991.