生体電気インピーダンストモグラフィーによる体脂肪分布の推定 -逆問題解析による基礎的検討-

Fat Distribution Estimation Using Bio-Electrical Impedance Tomography -Basic Study by Inverse Problem Analysis-

○鈴木 義人, 青木 広宙, 越地 耕二

東京理科大学大学院理工学研究科電気工学専攻

○Yoshito Suzuki, Hirooki Aoki and Kohji Koshiji

Graduate School of Science and Technology, Tokyo University of Science

1. はじめに

近年問題視されている心臓病、高血圧、糖尿病等の生活習慣病は、過剰な体脂肪の蓄積が主な原因であることが分かってきた。そこで、健康管理を行う上で、体脂肪を効率よく燃焼させるためにも、体脂肪分布の情報を知らることが望まれている。

本研究では、簡便な装置であり非侵襲的な測定が可能である生体電気インピーダンス法を用いて、局所的な体脂肪分布の推定を行うことを想定し、数値解析による検討を行った。解析方法として、筋肉と脂肪の2層からなる数値モデルについて、逆問題解析により体脂肪分布の推定が可能であるかについて検討した。

2. 原理

2.1 支配方程式

生体内部における電位分布の支配方程式は次式となり、これを解くことで電位分布が求められる。

$$\nabla \cdot \gamma(X, \omega) \nabla u = I(X, \omega) \quad (1)$$

$$\gamma(X, \omega) = \sigma(X, \omega) + i\omega \varepsilon(X, \omega) \quad (2)$$

ここで、(1)式において、 u は生体内の電位、 X は生体内の位置、 ω は電流源の角周波数である。 I は電流源に相当し、生体内部においてはゼロであり、生体表面に設置される電流源においては電流値を示す。(2)式は生体の電気的特性を表す式であり、 σ は導電率、 ε は誘電率を示している。今回の解析では直流電流による測定を想定しているため、 $\varepsilon = 0$ とした。

2.2 逆問題解析

本研究では、逆問題解析により、導電率 σ の分布を求める。与えた解析モデルについて、ラプラス方程式を連立させて解くことで順問題解析を行い、電位分布を算出し、測定データとする。

逆問題解析には、非線形最小二乗法を用い、測定データとの残差が最小になるように導電率分布を最適化する。最適化に利用するアルゴリズムは、信頼領域法を用いている¹⁾。

3. 解析方法

3.1 解析モデル

本研究では、Fig. 1、Fig. 2 にそれぞれ示すように筋肉と脂肪の2層からなる2次元の解析モデルを設定した。解析は、横10cm×縦10cmの領域で行い、筋肉や脂肪の形状を変化させた場合について検討を行った。解析モデルの詳細を以下に示す。

□ : muscle ■ : fat
Fig. 1 Analysis model 1.

□ : muscle ■ : fat
Fig. 2 Analysis model 2.

3.2 解析手法

今回の解析では、筋肉と脂肪の導電率をそれぞれ $\sigma_m = 4 \times 10^{-1}$

[S/m]、 $\sigma_f = 3 \times 10^{-2}$ [S/m]に設定した。電極配置として4電極配置を用い、ソース電流電極を Fig. 3、Fig. 4 に示すように、S1～S4の4通りのセットとなるように設定し、電位測定電極については間隔を10[mm]として、体表面に設置可能なすべてのパターンにおける電位分布を測定データとして算出した。脂肪の導電率の値である 3×10^{-2} [S/m]を推定モデルである導電率分布の初期値とし、測定データとの残差が最小となるように最適化を行い、生体内部の導電率分布を推定した。

Fig. 3 Electrode pattern 1. Fig. 4 Electrode pattern 2.

4. 解析結果

Model 1、2 についての解析結果を Fig. 5 から Fig. 8 に示す。ここで、Electrode pattern を EP と略して示している。解析結果より、EP1 より EP2 の方が与えたモデルに近い結果が得られていることがわかる。

Fig. 5 Result of model 1 (EP1).

Fig. 6 Result of model 1 (EP2).

Fig. 7 Result of model 2 (EP1).

Fig. 8 Result of model 2 (EP2).

5. おわりに

本研究では、生体電気インピーダンス法を用いて、局所的な体脂肪分布の推定を行うことを想定し、逆問題解析による検討を行った。ソース電極の配置を変えることで、解析結果に差異が現れた。今回の解析については、電流がモデルを横断するように電流源を設定したモデルにおいて、良好な解析結果が得られた。

参考文献

- 1) Moré J.J., D.C.Sorensen, Computing a Trust Region Step. SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing 1983 ; Vol. 3 : 553-572.