

インピーダンス法による生体内水分量計測に関する基礎的研究

Fundamental Study of Measurement of Water Content in Human Body by Impedance Method

久森康平¹⁾、阿部武志¹⁾、秋山庸子¹⁾、三島史人¹⁾、西嶋茂宏¹⁾、前川義量²⁾

1)大阪大学大学院工学研究科、2) 社会福祉法人円融会

Kouhei Hisamori¹⁾, Takeshi Abe¹⁾, Yoko Akiyama¹⁾, Fumihito Mishima¹⁾ Shigehiro Nishijima¹⁾ and
Yoshikazu Maekawa²⁾

1. Graduate School of Engineering, Osaka University

2. Social Welfare ENYUKAI

Abstract: The purpose of this study is to prevent urothra by estimating urine volume with bioelectric impedance analysis (BIA). BIA is method to assess human body composition by measuring the voltage between electrodes fixed on the biological surface under constant current. By using this method, impedance of hypogastric region was measured to detect the change in urine volume in the human body. The bioelectric impedance decreased with increase in body water, and strongly correlated with sensory score of uresiesthesia. To verify the experimental result, the distribution of current density and voltage in cross-section of hypogastric region was calculated with finite element method under constant current. The result indicated that voltage of biological surface reflects the change in the amount of human body water.

Key Words: _bioelectric impedance analysis_ welfare technology

要旨 :本研究では生体電気インピーダンス法を用いて尿量を推測することで尿失禁を予防することを目的とする。生体電気インピーダンス法とは生体に電流を印加、電圧を計測することで生体の組成を調べることができる手法である。この手法を用いて下腹部のインピーダンスを計測することで、生体内の水分量の増加とともにインピーダンスは減少し、さらに尿意の官能値との間に良い相関を得ることができた。また、有限要素シミュレーションを用いて下腹部水平面に定電流を印加したときの電圧分布を調べたところ、前述の実験の結果と一致していた。これらの結果により、生体表面の電圧を計測することで生体内部の水分量変化を推測することができると示された。

キーワード :有限要素法 生体電気インピーダンス法 福祉工学

1.緒言

本研究では生体電気インピーダンス法を用いて生体内水分量を推定することで、尿失禁を予防することを目指している。生体電気インピーダンス法とは生体に微弱電流を流し、生体表面の電位を計測することでインピーダンスを算出する手法である。人体の組織によって電気的特性は異なるので、それにより人体の組成を推定することができる。この手法を用いることで膀胱に蓄積した尿量を定量的に評価できると予想され、介護現場における尿失禁の防止に役立つと考えられる。今回はその基礎的検討として、生体インピーダンスと尿意の官能評価との相関を調べる実験を行った。更に、膀胱内尿量の変化によって下腹部の電位分布がどのように変化するかをシミュレーションによって調べるために下腹部水平面を模擬した有限要素モデルを作成し、電流を印加した時の電圧分布を調べた。

2.生体インピーダンスの測定

2.1 実験方法

被験者は 20 代の健康な男性 1 名である。被験者には、本研究の目的、方法、倫理的配慮等を文書と口頭により説明し、書面による承諾を得た。実験前に排尿してもらい、尿意を感じない状態で実験に参加してもらった。まず被験者には座位になってもらい、電極を臍から下に 5cm、左右に 2cm のところと、更に左右に 3cm 離れたところに 1 つずつ、計 4 つ貼り付けた。電極貼り付け後水 1L を 5 分かけてゆっくりと飲んでもらった。その後安静な状態で、インピーダンスを計測した。計測には HIOKI 社 LCR メーター 3532-80 を使い、周波数は 100kHz、印加電流は 1mA で行った。インピーダンス測定と同時に尿意に対する官能値を 7 段階で調べた。官能値は 0 が全く尿意を感じない(実験前)状態であり、6 は我慢できないくらい強い尿意を示す。

2.2 実験結果

図 1 にインピーダンスと尿意の官能値の時間変化を示す。時間とともにインピーダンスが低下していることがわかる。この結果から、膀胱に尿が溜まることに

よりインピーダンスが低下していると考えられる。一方で尿意の官能値は 25 分過ぎから徐々に増加していることがわかる。インピーダンスと尿意の官能値の相関係数は 0.72 であり、下腹部の生体電気インピーダンスは尿意を反映していると言える。

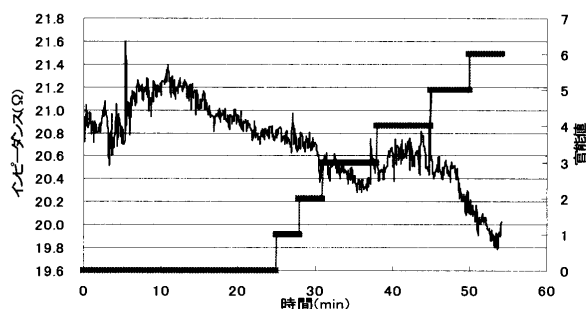


図1 インピーダンスと官能値の時間変化

3. 生体の有限要素シミュレーション

3.1 解析方法

一方、生体組織中の電位分布シミュレーションには有限要素法を用いた。ソフトウェアは Ansys10.0 を用いた。まず図2のような脂肪(電気抵抗率 $25.0 \Omega\text{m}$)と筋肉(電気抵抗率 $7.7 \Omega\text{m}$)、骨盤(電気抵抗率 $25.0 \Omega\text{m}$)と膀胱の4要素からなる腹部水平面有限要素モデル(短径 23.3cm 、長径 40.0cm)を作成した。なお、膀胱の電気抵抗率は膀胱に尿が溜まっていないとき(非蓄尿時とする)には膀胱は収縮しているため電気抵抗率は筋肉と同じ $7.7 \Omega\text{m}$ とし、尿が溜まっているとき(蓄尿時とする)には膀胱が膨張し、中に尿が充満しているため、電気抵抗率は尿と同じ $2.0 \Omega\text{m}$ としてモデリングした。2の実験では 100kHz の交流電流を用いているが、ここではまず単純な系として直流電流で解析を行った。正中線より左右 10cm にある A、B 点を電極と見立て、節点に 1mA の直流電流を印加し、そのときの電流密度分布と電位分布を調べた。

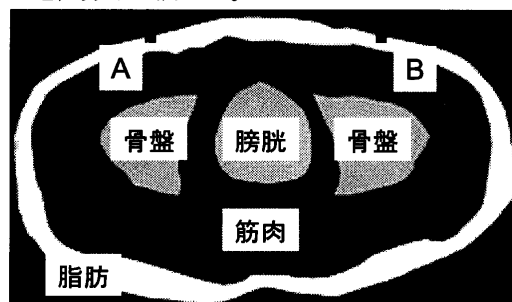


図2 腹部水平面モデル

3.2 解析結果

図3は非蓄尿時の、図4は蓄尿時の電位分布を示している。図3では V_{max} が 0.046 、 V_{min} が -0.029 、図4では V_{max} が 0.038 、 V_{min} が -0.037 である。この結果が示すように、両方のモデルの表面電位を比較すると、非蓄尿時より蓄尿時のほうが表面電位が低い。これは、蓄尿時では膀胱に電気抵抗率の低い尿が溜まることで

非蓄尿時に比べて生体内部の電流密度が大きくなる。このことにより体表面の電流密度が小さくなることで電位差が小さくなると考えられる。この結果は実測結果と一致する。よって、体表面の電位を測定することで体内水分量変化を調べることができる可能性が示された。この技術を高齢者介護に応用することで、尿失禁を防ぐことができると考えられる。

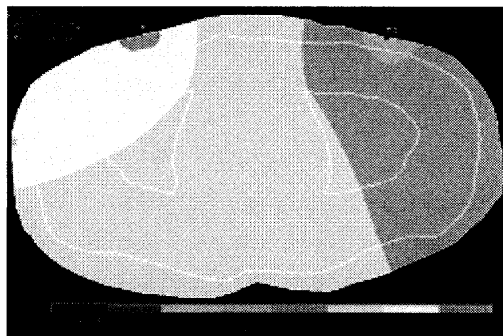


図3 非蓄尿時の電位分布

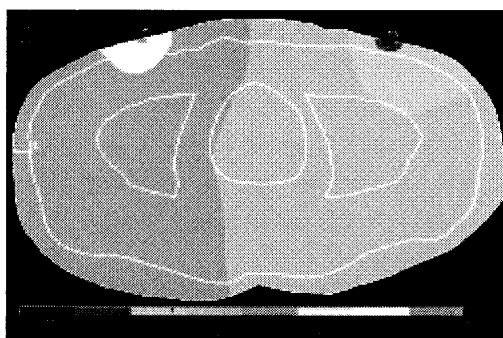


図4 蓄尿時の電位分布

4. 結論

生体インピーダンスの計測実験により下腹部内の水分量(尿量)を表面電位によって推測できることが示された。今後は、有限要素シミュレーションで作成した等価モデルを生体模擬材料を用いて作成する予定である。生体よりも簡略化したモデルの実測値を測定することで今回のシミュレーション結果の妥当性を確認する予定である。また今回のシミュレーションは直流電流で行ったが、交流による周波数依存性も今後検討する予定である。

5. 文献

- [1]Atlas of Anatomic Correlations in CT and MRI (Igaku Shoin Ltd. Tokyo)
- [2]酒本勝之, 生体組織の電気特性からの測定法. ボディ・コンポジションと代謝研究会誌 2006;Vol. 11:9-25

<連絡先>

著者名: 久森康平

住 所: 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1

所 属: 大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻

E-mail アドレス: hisamori@qb.see.eng.osaka-u.ac.jp