

生体電気インピーダンス法を用いた早期褥瘡検出

Detection of Early-Stage Pressure Sore using Bioelectrical Impedance Method

0130103 内山朋香 太田裕治

Tomoka UCHIYAMA and Yuji OHTA

1. 研究背景

褥瘡とは、「体の接触面からうける圧力によって、組織の末梢血管が閉塞し壊死を起こす病態」である。創傷部位に、壊死組織を含むため、難治性かつ易再発性である。寝たきり患者・車椅子利用者・麻痺患者に多く見られる。平成12年より施行された褥瘡対策未実施減算制度のため、報告される褥瘡発生件数は減少傾向にある。しかし、今後予測される急激な高齢者数増加とともに、褥瘡は看護・介護現場における問題であり続けるだろう。

現在までに、圧や摩擦による褥瘡発生メカニズムに関して、多くの工学研究がなされ、それらを踏まえた予防器具の利用が進められている。しかし、褥瘡は複数要因から生じること、また、皮膚や皮下組織の機械的特性・構造は患者ごとに大きく異なることから、上記の結果を全てに単純に当てはめることはできない。従って本研究では、褥瘡治療に関して、予防策を行った上で、生じてしまった褥瘡を早期に発見し、処置することを要点をおくものとした。

2. 研究目的

臨床において、初期段階褥瘡である発赤の発見は目視で行われている。患者一人一人を脱衣の上、皮膚観察を行うことは、看護・介護現場において多大な労力を要し、現実的に実現は不可能である。(入浴・清拭のときにみるという話もあるが。)よって、本研究では、看護者・介護者負担軽減のため、着衣上からの非接触生体電気インピーダンス計測による発赤検出を目標とし、その検出方法を検討する。

3. 褥瘡発生について

褥瘡は身体の可動性・活動性の低下より始まり、外的・内的要因も加わりつつ、概ね、局所的圧力・応力付加→血行障害・虚血→組織壊死→褥瘡の順で進行する。主な好発部位は圧力が集中する骨突出部であり、入院群・在宅群いずれも坐骨部が最も多く、足関節部、肩甲骨部がこれに続く。好発部位は仰臥位、側臥位、伏臥位と体勢により違いがある。

初期褥瘡である発赤は組織損傷による毛細血管拡張から血液量が増加、また間質液量増加、内出血、浮腫が起きた状態である。従って、発赤部位は周辺組織と比較し水分量増加のために、電気インピーダンスが

減少すると考えられ、この変化を計測することで発赤の検出が可能と考えた。

4. 生体電気インピーダンスと生体モデル回路

4-1 生体電気インピーダンスと Cole-cole plot

電気インピーダンスとは、交流の電気抵抗のことであり、コイル等の誘導成分とコンデンサー等の容量成分によって電気インピーダンスは実数成分と虚数成分からなる。生体の場合、電気インピーダンスは図1のモデル回路に示すように細胞膜容量・細胞内抵抗・細胞外抵抗により表すことができる。Cole-cole plotは複素平面上に、電気インピーダンスをプロットしたものである。

4-2 モデル回路の計算

図1に示す生体モデル回路について抵抗とリアクタンスについて以下の式を得られる。

$$\left[R - \frac{2R_e R_c + R_c^2}{2(R_e + R_c)} \right]^2 + X^2 = \left[\frac{R_c^2}{2(R_e + R_c)} \right]^2$$

これは、中心 $(2R_e R_c + R_c^2)/(2(R_e + R_c), 0)$ 半径 $R_c^2/(2(R_e + R_c))$ の半円の Cole-cole plot を描くことを示す。発赤状態では、細胞外抵抗は低下すると考えられ、従って、①円弧中心は原点に近づきかつ半径は減少、②各周波数における抵抗・リアクタンスはそれぞれ減少、③リアクタンスが最大となる周波数は増加する、ことが予測される。



図1 生体モデル回路

5. 電気インピーダンス計測実験

ロックインアンプ(エヌエフ回路設計ブロック製、LI5640)により、参照信号電圧(振幅が、5-1節:10mV, 5-2節:1mV, 5-3節:5mVの正弦波)を印加した際の電流実数成分・虚数成分を測定し、電気インピーダンスを計算から求め Cole-cole plot を描いた。

5-1 モデル回路計測

周波数 0.1 Hz~10 kHzにおいて、モデル回路 ($R_e=R_i=80 \text{ k}\Omega$, $C_m=1000 \text{ pF}$ とした) の電気インピーダンスを計測した。結果 (Cole-cole plot) を図 2 に示す。低周波側 0.1 Hzにおいて抵抗 80 k Ω 、高周波側 1 kHzにおいて、抵抗 60 k Ω ・リアクタンス 20 k Ω が得られ、計算値と良く一致した。また発赤により 80%に R_e が減少したと仮定した計算も行った。

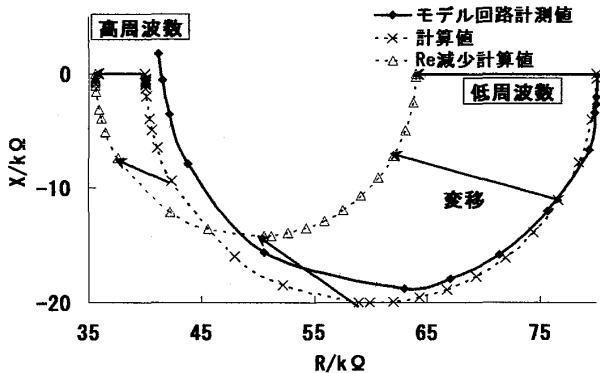


Fig. 2 モデル回路の Cole-cole plot

5-2 電極インピーダンス計測

つぎに、白金電極及び心電図用クリーム（日本光電社製、カルジオクリームプロ）のインピーダンス計測を行った。周波数 0.1 Hz~50 kHzにおける、計測結果を図 3 に示す。これらのインピーダンス値は、生体と比較しかなり小さいため、電気インピーダンス計測に対しては無視できるものと考えられた。

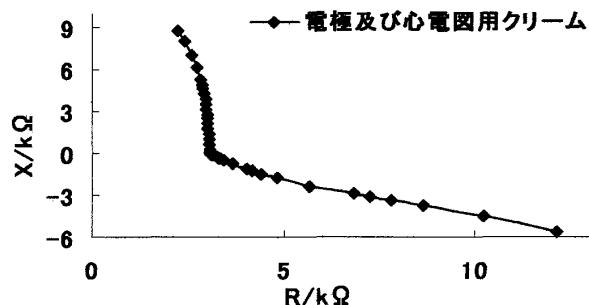


Fig. 3 電極・心電図用クリームの Cole-cole plot

5-3 前腕インピーダンス計測

前節で用いた電極と心電図用クリームを、前腕内側肘関節より 9 cm および 11 cm の遠位点に貼り、10 分程度なじませた後に、周波数帯域 0.1 Hz~20 kHzにて計測を行った。測定結果を図 4 に示す。この計測結果に基づく分散は、周波数帯域から α 分散であると考えられた。図中にはアルコールパッチテストにより作成した発赤に対する計測結果及び、最小二乗法による近似線も示した。また、図 5 には 10 kHz付近の拡大図を示した。

この結果より、電極間に 1 つのモデル回路が存在すると仮定すれば、 $R_e \approx 4 \text{ M}\Omega$, $R_i \approx 80 \text{ k}\Omega$ と考えられ、 R_e が想定した値よりかなり大きいことが分かった。ま

た、図 4 の被験者においてはアルコールパッチテストにより R_e が約 83%に減少したと考えられた。

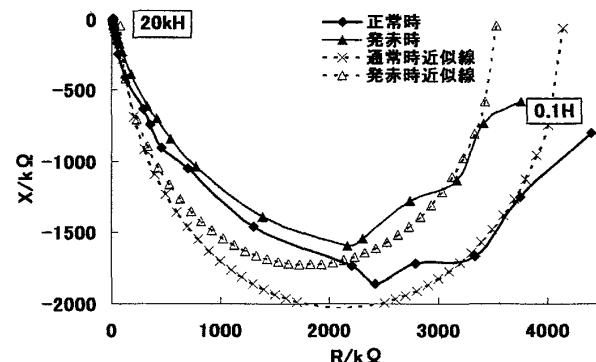


Fig. 4 前腕通常時・発赤時及び近似線の Cole-cole plot

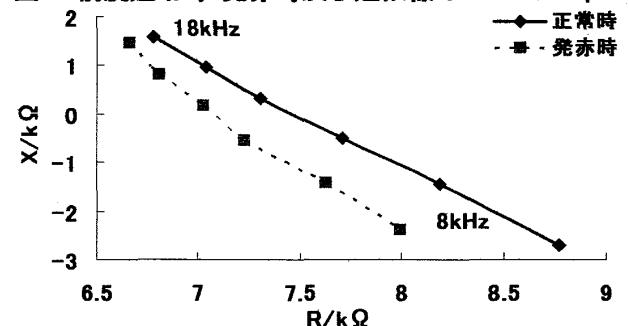


Fig. 5 8~18kHzにおける前腕通常時・発赤時の Cole-cole plot

6. 考察

今回の計測方法により、正常時と発赤時のインピーダンス差が検出可能であることが分かった。本研究では、褥瘡検出に際して、非接触であることを目標としている。非接触測定には、コイルに交流変動磁場を発生させ、それにより生じる誘導磁場による起電力を 2 つのコイルで検出し、その起電力差から発赤部と周辺部位のインピーダンスの違いを検出する方法を用いることを考案している。誘導電流の大きさは周波数に比例することから、検出にはより高い周波数帯域を利用することが計測上有利である。一方、本研究で仮定したモデル回路では、発赤時に仮定した R_e の減少は、低周波数側で顕著となる。また今後、非接触計測を検討する際には、皮膚構造のため接触計測とは電流分布が異なり別の周波数特性を示すと考えられる。以上をふまえ、非接触計測時の適切な周波数帯域に関し検討する必要がある。

[参考文献]

- 1) M. v. Saint-george, C. H. Riedel, O. Dossel "Design of a system for contact-free measurement of the conductivity of biological tissue" 2002.
- 2) C. H. Riedel, M. Keppelen, S. Nani, O. Dossel "Post mortem conductivity measurement of liver tissue using a contact free magnetic induction sensor" 2003.