

生体電気インピーダンス法による早期褥瘡検出 Early Detection of Pressure Ulcer Using Bioelectrical Impedance Analysis (BIA)

0230102 石亀祥子 太田裕治
Shoko ISHIGAME, Yuji OHTA

1. 研究背景

褥瘡は難治性・易再発性の創傷であり、特に寝たきりの患者に多く発症する。日本において、「寝たきり」高齢者数は2010年度で170万人、2025年には230万人に達すると推定され、また、日本における褥瘡有病率は病院、施設では4.2~9.5% (全入院・入所者中) であるのに対し、在宅ケアでは7.0~14.6% (全要介護者中) であり、後者が高い。今後、介護保険の普及に伴い在宅ケアの傾向が強まると考えられることから、褥瘡患者はますます増加することが懸念される。

2. 研究目的

褥瘡は初期段階での治療により治癒期間の短縮、労力・経済負担の軽減が可能となる。しかし現在、臨床において行なわれる目視観察では初期褥瘡を確実に検出することは現実的に困難である。本研究では、看護者・介護者の負担軽減のためBIA (Bioelectrical Impedance Analysis) 法を用いることで、早期褥瘡発見のための研究を行なう。また、重度の褥瘡の原因となる深部から発生した褥瘡検出についての検討も行なう。

3. 褥瘡発生について

褥瘡発生は、骨突出部などに体圧が集中し、被加圧部位の毛細血管血流が途絶え、それが長時間にわたることで皮膚に阻血性の壊死が生じることによる。この直接的要因に、摩擦・ずれ、栄養、失禁や湿潤などの二次的要因が加わる。褥瘡の初期段階では、皮膚表面に圧迫しても消退しない発赤が見られ、これは毛細管拡張により血液量増加、間質液量増加、内出血、浮腫が起こった状態である。発赤部位は周辺組織と比較すると、組織水分量増加のために電気インピーダンスが低下すると考えられる。このインピーダンス変化を検出することにより発赤の検出が可能と考えられる。

4. 生体電気インピーダンス法

電気インピーダンスとは、交流回路における抵抗のことで複素数で表される。Fig.1に示すように生体組織の場合、電気インピーダンスは細胞膜容量・細胞内抵抗・細胞外抵抗により表すことができ、生体インピーダンスを複素平面上にプロットするとCole-Cole plotと呼ばれる半円状の特徴的な形

を描く。発赤時に毛細血管が拡張することからプロット上に細胞外抵抗の変化の影響が現れると考え、計測実験を行なった。その他、測定に影響を与える因子について、深さや組織間の違いについての計測を行なった。

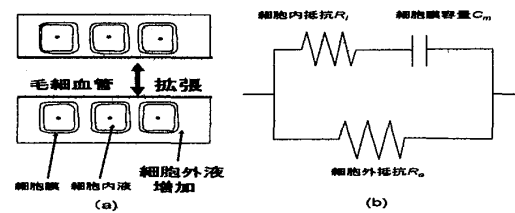


Fig. 1 (a)細胞模式図(褥瘡時)と(b)細胞等価モデル

5. BIA計測実験

計測部と金属皮膜抵抗を直列に接続した後、交流電圧を印加し、特定の周波数範囲における金属皮膜抵抗部の電圧複素成分をロックインアンプ(エヌエフ回路設計ブロック, LI5640)により計測し、計算により生体部のインピーダンス値を求めた。計測には小型生体電極、心電図用クリームを用いた。

5-1 発赤モデルの電気インピーダンス計測

前腕内側肘関節より8 cm, 12 cmの遠位点に電極を設置し、金属皮膜抵抗を200 Ω、印加電圧を10 mVとして、0.1 Hz~100 kHz間の周波数変化に伴う生体組織の電気インピーダンス値を求めた。計測対象は、アルコールパッチテストの要領にて、消毒用エタノールを約10分間塗布し作成した発赤モデルとした。計測は20代の健康な女性4名で行ない、得られた結果よりCole-Cole plotを描いた。

0.1 Hz~30 kHzにおける計測結果をFig. 2に示す。正常時と発赤時の計測部の細胞外抵抗値はそれぞれ10.1 MΩ, 8.7 kΩであり、発赤時に86.1%に減少した。また、折り返し周波数は、正常時1 Hz, 発赤時0.8 Hzとなり、細胞外液量の増加により変化することが分かった。さらにCole-Coleカーブは600~800 kHzの高周波数帯で交差する特徴が見られた。インピーダンスの絶対値には個人差がみられたものの、これらの傾向は全被験者で確認されたことから、正常状態と発赤状態をインピーダンス差として弁別可能であることが示された。なお、計測された電気インピーダンスは、周波数帯域よりα分散と考えられた。

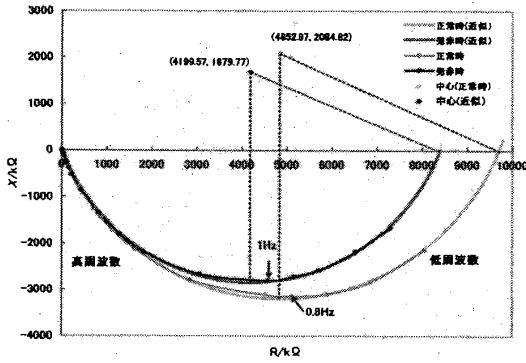


Fig. 2 被験者 A における Cole-Cole plot

5-2 電極間距離によるインピーダンス値の変化

電極間距離を 2 cm, 4 cm, 6 cm に設定し, 5-1 と同様に正常時の BIA 計測をそれぞれ行なった. 実験の結果, 計測部の電極間距離とともにインピーダンスの絶対値は減少するが, 折り返し周波数はいずれの場合も 1 Hz で一定であった (Fig. 3. 参照). これにより, 発赤の範囲などに応じて電極間距離を変更してもその検出は可能であると考えられる. ただし, 発赤を正常な皮膚のデータと比較する際は電極間距離を統一する必要がある.

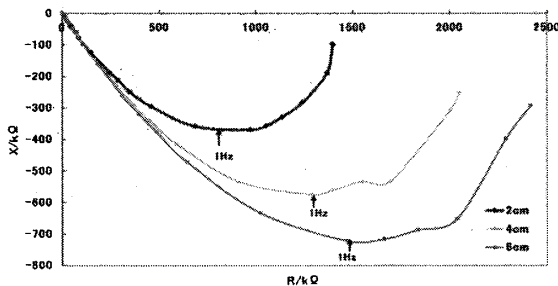


Fig. 3 電極間距離の変化に伴う Cole-Cole plot の変化

5-3 異なる組織におけるインピーダンス値の比較

異なる組織間のインピーダンス値の比較のため, 同一被験者において, 腓骨外果上, 腓腹筋上, 前腕部の BIA 計測を行なった. なお, 前腕部では筋線維方向に対し, 平行・垂直に電極を設置しそれぞれの計測を行なった. Fig. 4 に結果を示す.

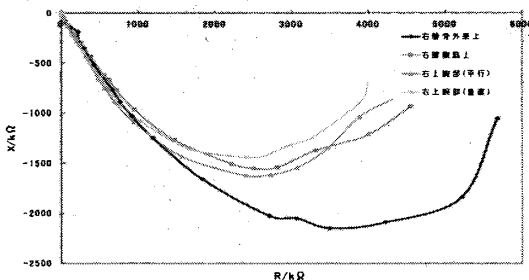


Fig. 4 部位別のインピーダンス計測結果

実験結果から, 組織構造が異なるためインピーダンスの絶対値・折り返し周波数も異なることが分かった. このため,

臨床において用いる場合は発赤計測値と比較するための参照データを得る方法を検討することが必要である.

5-4 組織内の電流(深部褥瘡検出の可能性)

次に深部褥瘡検出の可能性についてモデル実験を通じて検討した. 水槽を生理食塩水(0.9 %NaCl 水)で満たし, 底部に電極間距離 4cm にて小型電極を設置した. また, その間に電流を妨げる目的で上下可動式の仕切りを設けた. 1 V の交流電圧を印加し, 水槽底部から仕切りまでの距離を変化させたときのインピーダンスの 0.2 Hz~100 kHz の周波数変化を計測した. その結果, 仕切りが水槽底部から 2 cm の距離にある場合と仕切りが無い場合のインピーダンス値がほぼ等しかったことから, 電流は皮膚表面から 2 cm 程度の深さまでは流れることが推測され, 深部初期褥瘡の検出可能性が示唆された.

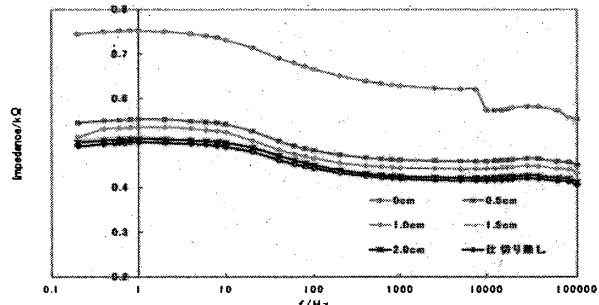


Fig. 5 生理食塩水を用いた組織モデルによる実験

6. 考察と結論

本実験の結果より, 発赤モデルと正常な皮膚のインピーダンス差が検出が可能であることが示されるとともに, 測定に影響を与える因子についてのデータが得られた.

今後は, 以下の 3 点についての検討を行なう. ①ウサギ耳垂上に作成した褥瘡モデルを用いて基本データを得る必要がある. 進行度別の褥瘡モデルにおいて, 発赤部位と正常部位でのインピーダンス変化を確認し, 計測値の評価方法について検討を行なう. ②着衣上からの計測を可能にするため, 非接触計測方法について検討する. すなわち, 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差を検出する手法を確立する. ③電極を用いた低周波数帯域での発赤検出について検討する. 高周波数域を利用する非接触法と比較し, 組織深部へも電流を流すことが可能なため, 目視にて検知できない深部褥瘡を早期に発見できるものとする.

[参考文献]

Sverre Grimnes and Ørjan G. Martinsen, "Cole Electrical Impedance Model—A Critique and an Alternative", IEEE Trans Biomed Eng, Vol. 52, No. 1, pp. 132-135 2005