

早期褥瘡検出を目的とした生体電気インピーダンス計測 Bioelectrical Impedance Analysis for Early Detection of Pressure Ulcer

内山 朋香 Tomoka UCHIYAMA

(ライフサイエンス専攻 人間生活工学コース)

1. 序論

褥瘡とは、主に、体重支持面から体接触面に加わる応力や摩擦などから生じる局所的な皮膚および皮下組織損傷である。脊髄損傷者や寝たきり患者、長期に及ぶ車椅子利用者、麻痺患者に多く見受けられ、褥瘡は多くの国において、看護・介護現場における問題である。褥瘡は創の深さに基づき4段階に分類される。すなわち、皮膚発赤として定義される第1段階から皮下組織である筋や筋膜まで及ぶ第4段階である(欧州褥瘡学会: grade1-4¹⁾, 米国褥瘡学会: stage I-IV²⁾)。日本褥瘡学会によると、stage Iやstage IIの初期段階で治療を始めることで、比較的早期(stage Iでは1ヶ月以内、stage IIでは2ヶ月以内)に治癒可能である³⁾。しかし重度褥瘡 stage III, IVに進行後に治療を開始した場合、1年以上かかることもある。また、重度褥瘡治療には多額の医療費が生じることも報告されている⁴⁾。従って、褥瘡に対しては早期発見及び治療が望まれる。

2. 目的

褥瘡の主な原因は圧であるが、その発症には皮膚・皮下の組織状態や看護状態など様々な要因が関与するため、一様な対策での予防は困難である。このため、本研究では予防の上で生じた褥瘡を早期に発見することが重要と考えた。褥瘡初期段階である発赤は毛細血管拡張・充血、浮腫により組織水分量が増加した状態と考えられる。体液は誘電性であることから、初期褥瘡組織においては電気インピーダンスの低下が予測できる。このことから、生体電気インピーダンス解析(Bioelectrical Impedance Analysis: BIA)法にて、正常皮膚と発赤部位を、電気インピーダンス値の差として検出可能と考えた。本研究においては、二電極法及び四電極法を用いたBIA法による皮膚発赤検出原理の検討を行うことを目的とした。

3. 電気インピーダンス計測実験

左前腕内側皮膚に対しアルコールパッチテスト(Ethanol patch test: 以下EPT)によりskin ruborを作成し、二電極法及び四電極法によりnormal skinとskin ruborの生体電気インピーダンス計測を行った。

3-1 二電極BIA計測

Fig. 1に計測システム図を示す。計測はDigital lock-in amplifier (エヌエフ回路設計ブロック社製、

LI5640)にて行った。電極には心電図用ディスプレイ電極(日本光電社製、P-150, $\phi=5$ mm)を用いた。計測対象である前腕皮膚と金属皮膜抵抗 $200\ \Omega$ を直列に接続し、1 Vの交流電流を印加した。金属皮膜抵抗における電圧降下を計測し、回路に流れる電流値を求めた。既知の電圧値及び計測した電流値から、計算により前腕皮膚の電気インピーダンスを求めた。計測周波数帯域は0.1 Hz-10 kHzとした。全計測操作はGPIB経由PC制御(使用ソフトウェア: Agilent technology社製, VEE7.0 pro)にて行った。計測対象は、EPT Reaction-positive被験者4名とnegative被験者1名とした。全ての被験者は健康女性で、年齢は 24.3 ± 1.0 歳であった。計測は急激な体液変動の影響を除くため、20分の安静座位姿勢保持後に行った⁵⁾。また、計測は室温(24°C)下で行った。生体組織は抵抗成分・容量成分からなることから、計測値に対してFig. 2に示すHayden modelに基づいたカーブフィットを行い、 R_2 値に基づいてskin ruborとnormal skinの比較を行った。

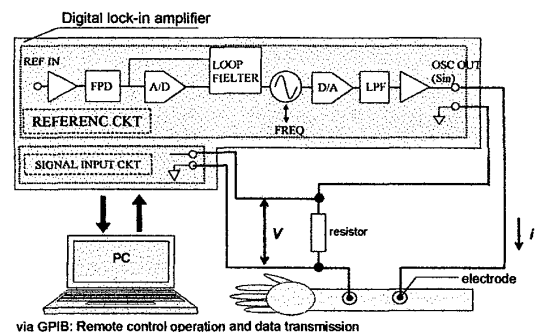


Fig. 1 Measurement system.

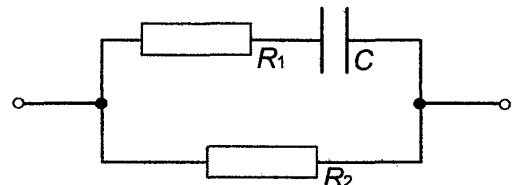


Fig. 2 Hayden model.

Fig. 3及びFig. 4に計測結果を示す。Fig. 3はEPT Reaction-positive被験者のCole-Cole plotの典型例であり、Fig. 4はnegative被験者の結果である。また、Table 1に、カーブフィットより求めた R_2 値に関する全被験者の結果をまとめて示した。全EPT Reaction-positive被験者においてskin rubor組織の R_2 値がnormal skinと比較

し、約 $11.4 \pm 3.1\%$ 減少することを確認した。一方、EPTR-negative 被験者においては R_2 値の減少はほとんど見られなかった。

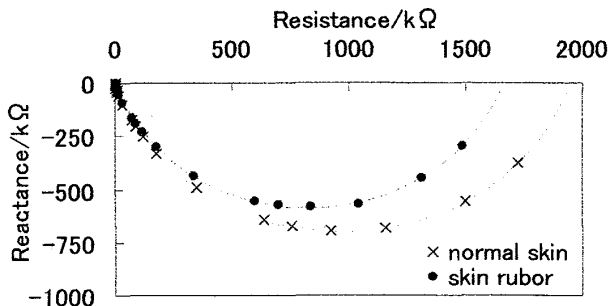


Fig. 3 Cole-Cole plot from subject 1 (EPTR-positive).

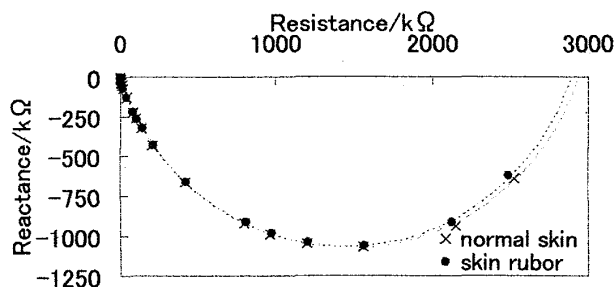


Fig. 4 Cole-Cole plot from subject 5 (EPTR-negative).

Table 1 Estimated value for R_2 of all subjects.

Subject	EPTR	Estimated $R_2/10^6\Omega$		
		Normal skin	Skin rubor	Decrease %
#1	+	1.95	1.66	14.9
#2	+	7.83	6.73	14.0
#3	+	3.54	3.26	7.9
#4	+	3.83	3.49	8.9
#5	-	2.94	2.89	1.7

3-2 四電極 BIA 計測

LCR メータ (エヌエフ回路設計ブロック社製, ZM2353) を用いて四電極法による皮膚 BIA 計測を行った。使用電計測極及び計測部位、計測環境は 3-1 と同様とした。周波数帯域は 8-200 kHz の 15 点とした。4 個の電極間距離は全て 4 cm としウエナ配置⁷⁾を取った。計測対象は EPTR-positive 被験者 3 名とした。全被験者は健康女性で年齢は 23.3 ± 1.2 歳であった。計測は①着座時、②20 分安静姿勢保持後、③10 分間の EPT 後 (skin rubor 作成後) の計 3 回行った。

計測結果の典型例を Fig. 5 に示す。二電極法と同様に Cole-Cole plot が描けた。二電極法と比較し計測値の絶対値が小さいのは、電圧測定において、皮膚抵抗の影響を受けることなく深部組織のインピーダンス計測が行えたためと考えられる^{8,9)}。しかし、四電極計測においては EPT により作成した skin rubor をインピーダンス差として検出できなかった。EPT による skin rubor 発生は毛根におけるアセトアルデヒド脱水素酵素の欠如・不足により生じる現象であることから、四

電極法による計測では毛根以下の皮下組織を対象とした BIA 計測を行ったものと考えられる。

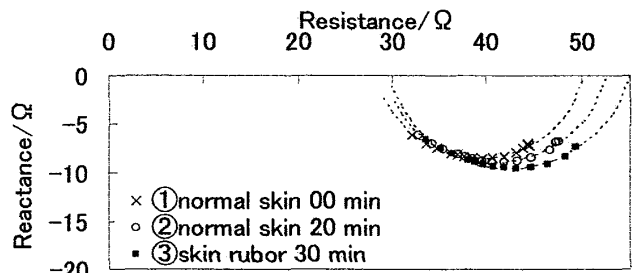


Fig. 5 Cole-Cole plot of skin impedance measured by the four-electrode method (EPTR-positive).

4. 考察

二電極計測では、EPTR-negative 被験者と positive 被験者の比較により、BIA 計測に基づき毛根部位から上部の皮膚表面近傍の発赤検出が可能であることが示された。この研究を応用することにより、皮膚表面で生じる初期褥瘡検出が可能と考える。一方、四電極計測においては、電流印加電極と電圧計測電極が別であるため、電圧計測に際し電極に電流を流す必要がない。このため、皮膚インピーダンスの影響を受けることなく、皮下組織の BIA 計測が行えたと考えられる。また、周波数領域から、二電極法による計測は α 分散領域、四電極法は β 分散領域を計測したと考えられる⁸⁾。四電極法による BIA 計測は、今後、皮下組織の褥瘡モデルを用いることで電流路の検証並びに、初期褥瘡検出の検討を行う必要がある。

5. 結論

二電極法により皮膚表面近傍の発赤の BIA 計測法が確立できた。また、四電極法により皮下組織の BIA 計測の可能性が示唆された。本研究を進展させることで、定量的評価に基づいた体表面及び皮下組織の褥瘡早期検出が可能となると考えられる。

参考文献

- 1) EPUAP HP <http://www.epuap.org/>
- 2) NPUAP HP <http://www.npuap.org/>
- 3) 日本褥瘡学会誌 Vol.3(2):231, 234, 2001.
- 4) Bennett G, et al, *Age and ageing*, 33(3): 230-5, 2004.
- 5) Miller PS, et al, *Age and ageing*, 33(3): 217-8, 2004.
- 6) Seo A, et al, *Med Biol Eng Comput.*, 39(2): 185-9, 2001.
- 7) 高倉伸一, 博士論文, 京都大学工学部, 2004.
- 8) Grimnes S, et al, "Bioimpedance & Bioelectricity", *Academic press*, 2000.
- 9) 山浦逸雄, "人と植物の新世紀", *SAWS*, vol.12, 2001.

(指導教員 太田裕治)