

# 静脈圧の変化が下肢生体インピーダンス測定に 与える影響について

智原栄一<sup>1</sup>、梅内貴子<sup>1</sup>、田村美恵<sup>2</sup>、志馬伸朗<sup>3</sup>

明治鍼灸大学麻酔科学教室<sup>1</sup>、明治鍼灸大学臨床鍼灸医学Ⅲ教室<sup>2</sup>、京都府立医科大学麻酔学教室<sup>3</sup>

**Key Words:** 下肢、生体インピーダンス、静脈、リンパ

## 【抄録】

下肢は高い静水圧や心不全状態で浮腫をきたしやすい。このような状態を客観的に評価する方法として両下肢間の生体インピーダンスの測定が有効であるかを検証するため健康成人の下肢静脈圧を体位性に变化させた際の変化を検討した。

【方法】健康成人7人において両下肢の中足骨上の電極に50kHzの電流を付加しインピーダンスを測定した。仰臥位から-5度のヘッドダウンを30分間保った後ヘッドアップ10度を20分間保ち、インピーダンスの変化を心拍数・体血圧とともに計測した。

【結果・考察】ヘッドダウン-5度ではインピーダンス値は漸増し、そこからヘッドアップ10度に体位変化させると下腿部において約20cm水柱の静水圧の差が生じ静脈うっ滞でインピーダンス値は減少するがリンパ環流のためプラトー値になる。本法はリンパによる間質の水分変化も反映しており、心不全などのモニターとして応用できることを示している。

## 【背景・目的】

間質への水分貯留は病的な状態で増加するがそれを客観的に評価する簡便な方法はない。

下肢は重力により高い静水圧にさらされるが筋肉ポンプと静脈弁の機能で細胞外液の貯留を防いでいる。しかし、心不全状態で寝たきりとなると慢性的に静脈圧が高まり pitting edema をきたしやすくなることはよく知られている。生体インピーダンス値は皮下組織の脂肪と非脂肪組織の比率を反映し<sup>1)</sup>、体脂肪量の変動が小さい場合は皮下組織の血液密度や水分量の変動を反映すると考えられる。したがって周術期の皮下組織の水分状態を客観的かつ簡便に評価する方法として両下肢間の生体インピーダンスを測定することが考えられる。われわれは体外循環手術を受けた成人や小児の心臓手術後の生体インピーダンスを追うことでその予後を予測できることを報告した<sup>2), 3)</sup>。しかし、下肢の生体インピーダンス値の変動がどのような因子の影響を受けているのか、どの程度の生理的変動があるかなどについての基礎的報告は十分でない。われわれは生体インピーダンス法を臨床的指標と

してより活用するための基礎的データとして、健康成人の下肢静脈圧を体位性に变化させた際どの程度の変化が得られるかを実験的に検討した。これらを日常的な変動範囲の計測とあわせて報告する。

## 【対象・実験方法】

心血管系・代謝内分泌系疾患の病歴のない健康成人男女9名(男6名、女3名)で年齢 $25.3 \pm 3.0$ 歳の者に対して、実験内容について説明し予め文書による同意を得た。実験内容については明治鍼灸大学実験倫理委員会の承認を得た。通常の労作に従事した日勤帯で昼食後2時間以上の間隔を空け、ほぼ午後3時から4時に実験を行った。

心拍数はネルコア社製N3000パルスオキシメーター、非観血的体血圧測定は5分おきにコーリン社製自動血圧計BP88Siを用いて行った。下腿周径の変化をHokanson社製マーキュリーストレンゲージ計にて膝蓋骨の約15cm遠位にて同時に記録した。

左右の内股が互いに接触しない程度に脚を広

げ、両下肢(足首と第二中足骨部)に小児用心電図用電極を装着し高木産業製 インピーダンス式簡易体脂肪測定装置にて両下肢の生体インピーダンスを測定した。本装置は50 kHzで50  $\mu$ Aの微弱電流を表皮より通電し生体インピーダンスを測定するものである。

被験者を他動的にチルトが可能な処置用電動ベッドに水平仰臥位で休ませ各種の測定装置を装着した。その後ヘッドダウン5度にベッドを傾けそのままの体位を30分間保った。さらにその後ヘッドアップ10度にベッド位置を変更し20分間測定を続けた。

5度のヘッドダウンは重力による血液の分布が無重力状態にもっとも近似すると考えられている体位<sup>4)</sup>で、この体位を基準状態として、その後のヘッドアップによる下肢への血液貯留を評価することとした。

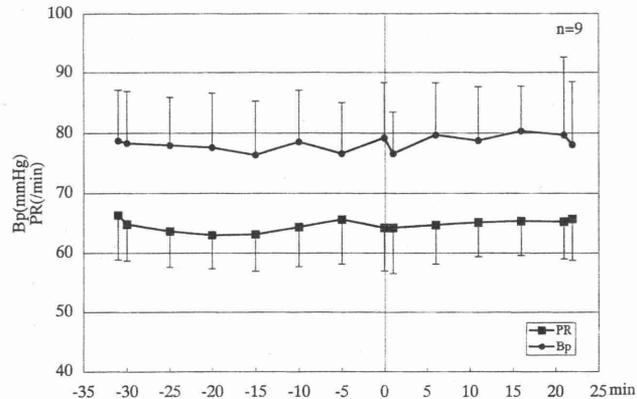
**図1：実験経過中の体血圧と心拍数の推移**  
 平均値と標準偏差を示す。ヘッドダウンからヘッドアップに切り替えたときを時間軸の0点に設定した。最初と最後の点は水平仰臥位にて測定している。体位変化に対し有意な変動は認められない。

**【実験結果】**

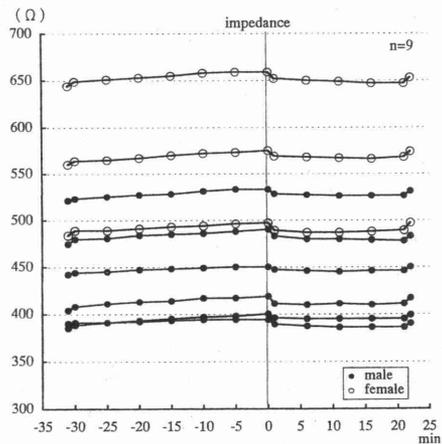
実験経過中、体血圧(安静仰臥位時  $78.8 \pm 8.3$  mmHg)・心拍数(安静仰臥位時  $66.3 \pm 7.4$  /min)は体位変動による有意な変化を認めなかった。(図1)

図2に実験中の各被験者のインピーダンス変化を示す。生体インピーダンス値は下肢の長さや皮膚の状態・脂肪率などにより個人ごとに異なるので、各人の安静仰臥位時のインピーダンス値を基準にした相対値を%表示にて表し、ヘッドダウン30分終了時をゼロ点としたものを図3に示す。

ヘッドダウン-5度を30分間続けていてもインピーダンス値は漸増していきプラトーに達しないのに対して、ヘッドアップ10度では速やかにインピーダンス値の低下が起こり約10分で横ばい状態になることがわかる。



**図2：下肢のインピーダンス値の変化**  
 被験者全員の測定値を示す。男性と女性では体脂肪率が異なるため基礎値が大きく異なることがわかる。時間軸の設定は図1と同じ。



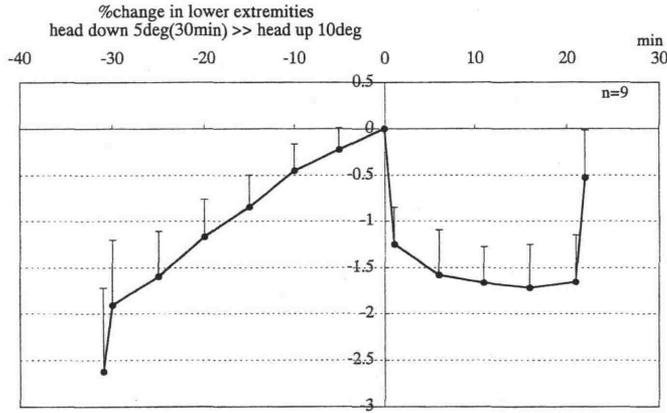


図3：下肢インピーダンスの値の%変化

実験開始時の水平仰臥位での値を100%の基準とし、時間軸の0点からの変動幅を集計して表示した。ヘッドダウン中は一定率での増加が見られるのに対し、ヘッドアップ後はいったん減少した後プラトー値に落ち着くという変化パターンの違いが認められる。

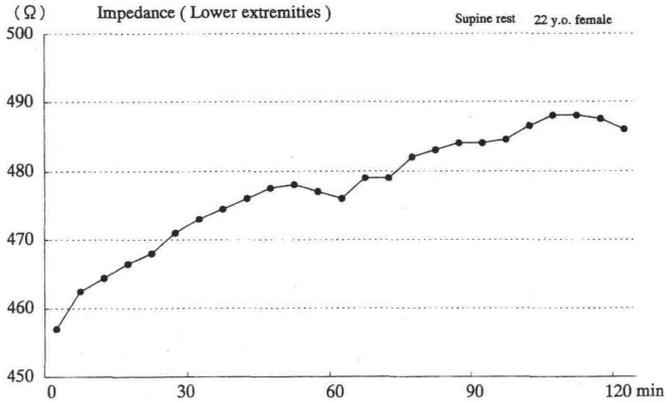


図4：長時間仰臥位で安静を保った際のインピーダンス変化

安静水平仰臥位にて、どの程度の時間で下肢のインピーダンスがプラトー値に達するかを検討した。約2時間にわたりインピーダンス値は漸増を続けプラトー値に達することはなかった。

【考察】

ヘッドダウンチルト-5度にて下肢の静脈圧をほぼ0mmHgに保つ状態においては無重力状態に近い血液分布をとると考えられている。それまで重力によって下肢に分布していた血液が心肺・内臓血管床に移動するために下肢のインピーダンス値が増加することが予想された。今回の実験でも30分間のヘッドダウンでインピーダンス値は漸増状態のままプラトー値を示すことはなかった。この点に関して、別の健常被験者で120分間の安静仰臥位(水平位)で下肢のインピーダンスを計測したものを参考のため図4として示す。この図か

らも明らかなように、下肢のインピーダンスは水平位では長時間にわたって漸増しコントロール値を設定することはできない。これは、体位によって血管床が減少するのみならず静脈圧の低下が細胞外液の静脈側への移行を促すこととリンパ還流による間質水分の汲み出しが大きな原因と考えられる。

次にヘッドアップ10度で下肢の静脈圧を上昇させた場合は、身長を160cmとすると下腿部分は心臓より約20cm低下し静脈圧の上昇により血管床が拡大し直ちにインピーダンスがステップダウンする。静脈圧上昇が低下時

と逆方向の水分移動を引き起こすとすると、静脈から染み出した水分が間質に移動しインピーダンス値は漸減していくと考えられる。しかし、図3が示すように実際のインピーダンス変化はヘッドダウン時とヘッドアップ時において対称になっていない。この理由として考えられるのは、静脈圧の上昇で血管外へ水分が移動するのに対抗してリンパ還流が余分な水分を中心静脈へ戻し平衡状態を保つことである。この点を確認するために仰臥位で大腿部にマンシェットを巻いて50mmHgの圧をかけることで下肢の静脈圧を上昇させイ

ンピーダンスを計測した場合の変化を図5に示す。ヘッドアップとの違いは大腿のマンシェットによってリンパ管が物理的に閉塞されているためリンパ還流が妨害されている点である。この場合はヘッドアップ時に見られたようなインピーダンス値の横ばい状態は起こらず、マンシェットを絞めている間インピーダンス値は漸減を続け水分の間質へのうっ滞が起こっていることを示している。つまり体位変動で認められた非対称性はリンパ還流の関与の仕方を反映したものであることが推測できる。

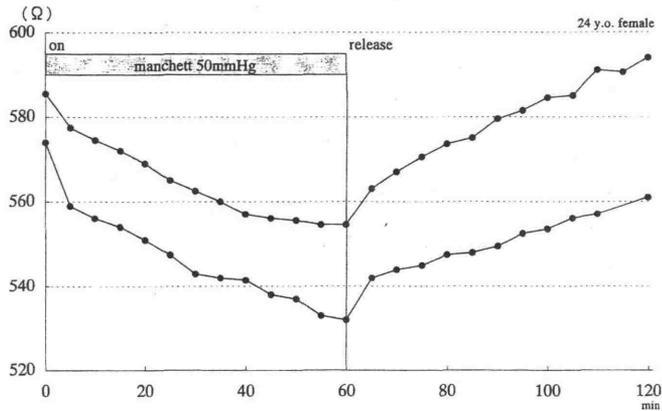


図5：大腿部をマンシェットにて絞めた際のインピーダンス変化

大腿基部に大腿用マンシェットを装着し50mmHgにて圧をかけた。静脈圧を上げている間インピーダンス値は漸減し続けた。

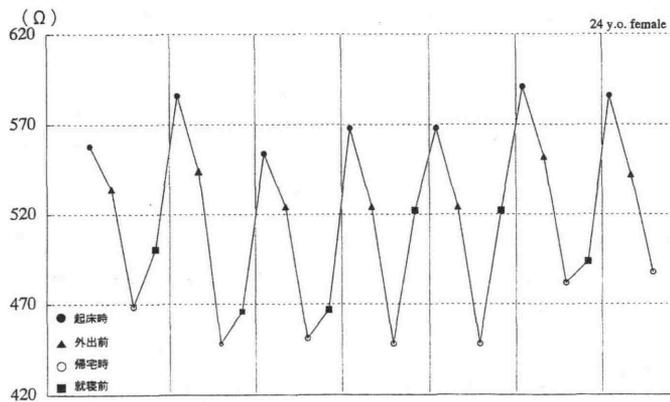


図6：日内変動の例

健康成人の下肢のインピーダンス値を一日4回づつ一週間にわたって計測した例。縦線で区切られたのが各一日である。最大20%程度の変動幅が見られる。

今回の体位性変動で下腿の静脈圧20 cm水柱程度を増加させたときに見られた下肢の生体インピーダンス変化は基礎値の約2%程度である。インピーダンス法による体脂肪率の測定は下肢組織の血液や水分分布の変動により日内変動のあることが知られている<sup>5)</sup>。われわれの過去のデータでは健康な人の日内変動の幅は夜間就寝中で約10%から20%である(図6参照)。今回の実験結果と考え合わせると日内変動を静脈血管床の増加分だけで説明することは困難であり、生体インピーダンス法で

観察される下肢の変動にはリンパ還流による間質の水分変動が反映されていると考えられる。われわれはすでに人工心肺使用後の小児患者の予後と生体インピーダンス値の回復とのあいだに関連があることを報告しているが、今回の結果と合わせて考えると、生体インピーダンス値の動きは単に静脈圧だけでなくリンパ還流の影響も含んだ間質の水分状態を反映するので体外循環の術後指標として有用であると推論できる。

【参考文献】

- 1) Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuck WW, et al. : Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *Am J Clin Nutr* 41:801-817, 1985
- 2) 山下智充、橋本悟、智原栄一ほか : Bioelectrical Impedance Analysis による開心術々後管理の検討。 *ICU と CCU* 22(4): 275-280, 1998
- 3) Shime N, Ashida H, Chihara E, et al.: Bioelectrical impedance analysis for assessment of severity of illness in pediatric patients after heart surgery. *Crit Care Med* 30,518-520, 2002
- 4) Blomqvist CG, and Stone HL: Cardiovascular adjustments to gravitational stress. In Shepherd JT, Abboud FM, and Geiger SR, eds. *Handbook of Physiology. The Cardiovascular System: Peripheral Circulation and Organ Blood Flow, sect.2 vol.III, part2, pp1025-1063, American Physiological Society, Bethesda, MD.1983*
- 5) 吉村学、石岡正子、田中喜代次ほか : 両掌間誘導BI法による体脂肪測定器の開発。 *肥満研究* 3(2): 45-53, 1997

## Change in bio-impedance of the lower extremities due to postural venous congestion

Eiichi Chihara<sup>1</sup>, Takako Umenai<sup>1</sup>, Mie Tamura<sup>2</sup>, Nobuaki Shime<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Anesthesiology, Meiji University of Oriental Medicine; <sup>2</sup> Department of Clinical Acupuncture and Moxibustion, Meiji University of Oriental Medicine; <sup>3</sup> Department of Anesthesiology, Kyoto Prefectural University of Medicine

### Abstract

The lower extremities was susceptible with extravascular water retention because of the gravity and cardiac failure. The objective evaluation of interstitial water has not been established. The measurement of the bioelectrical impedance was reported useful for quantitative indices for the subdermal edema. The influence of the gravitational water retention in the lower extremities was investigated in seven healthy adults by the body fat analyzer with 50kHz alternate current. Change in the impedance of the lower extremities was monitored for twenty minutes in the head up tilt 10 degree position after the thirty minutes' head-down position ( tilt -5 degree). During the head down tilt the impedance of the lower extremities was progressively increased, and after the conversion to the head-up tilt 10 degree, resulting in increase in venous pressure by 20cm water, the impedance decreased and maintained the plateau value. These different pattern between head-up and head-down in bio-impedance was considered to reflect the influence of lymphatic drainage of the interstitial fluid.