

セグメント別 BIA 法を用いた- 6 ° ヘッドダウンベッドレストおよび 人工重力負荷中の体液分布の経時変化

西村直記, 増尾善久, 岩瀬 敏 (愛知医科大学)

Changes in body fluid distribution during -6° head-down bed rest and artificial gravity by short-arm centrifuge using a BIA

Naoki Nishimura, Yoshihisa Masuo, Satoshi Iwase

Aichi Medical University, 1-1, Yazakokarimata Nagakute, Aichi 480-1195

E-Mail:nao2460@aichi-med-u.ac.jp

Abstract: Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) can easily measure the body composition including body fluid and body fat. We measured the body fluid distribution during -6° head-down bed rest for 60 min and during artificial gravity by short arm centrifuge using a BIA. The body fluid of the chest was gradually increased during -6° head-down bed rest, but the upper arm, body fluids of the abdomen and thigh were gradually reduced. The body fluid of the chest decreased immediately after the onset of centrifuge and remained low throughout the centrifuge period. On the other hand, the body fluid of the upper arm and thigh gradually increased during centrifuge period. We were able to confirm the fluids shift during -6° head-down bed rest and artificial gravity, but the body fluid distribution of the Intracellular and extracellular fluid is a future challenge.

Key words; Bioelectrical Impedance Analysis, -6° head-down bed rest, artificial gravity, fluid shift

1. はじめに

宇宙飛行など微小重力環境下への曝露時には、頭部方向への体液シフトがおこることが知られており、これが宇宙飛行の初期にみられる宇宙酔いや血液循環の調節喪失（これらを総称して宇宙デコンディショニングと呼ぶ）などの原因であるとも考えられている。これらを回避すべく、地上での模擬宇宙環境実験が世界各国において行われている。現在、最もよく用いられている模擬宇宙環境実験として、頭部を-6°下げた状態にセットしたベッド上で 24 時間すべての生活を行う、「-6°ヘッドダウンベッドレスト法」^{1,2)}が用いられている（図 1）。これは頭部を-6°下げた状態での頭部方向への体液シフトが、宇宙飛行時の体液シフトと等しいと考えられているからである。

現在、ヒトの体液量、筋肉量および体脂肪率などを含めた身体組成の簡便な測定方法として、生体電気インピーダンス法 (Bioelectrical Impedance Analysis: BIA) が採用されている^{3,4)}。しかしながら、身体は形態や組織構造が複雑であるにもかかわらず、従来の全身 BIA 法はシンプルな円柱モデルを適用して身体組成を推定していることから、その

測定精度については課題があるのが現状である。近年では、四肢に電極を配置する四肢誘導 8 電極法を用いたセグメント別 BIA が開発され、より精度が高く、体幹や四肢の身体組成をセグメント別に測定することが可能となった。

そこで本研究では、①60 分間の-6°ヘッドダウンベッドレスト中の頭部方向への体液シフトと、②これまで我々が宇宙デコンディショニングに対する対抗措置として実施してきた短腕式遠心機を用いた人工重力負荷（図 2）中の下肢方向への体液シフトを経時的に測定し、セグメント別 BIA の有用性について検討した。



Fig.1. -6°head-down bed rest.

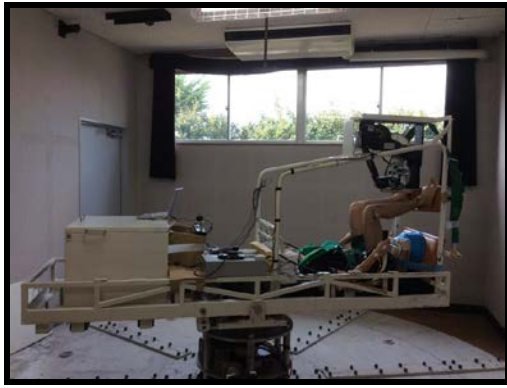


Fig.2. Short-arm centrifuge device.

2. 方法

健康成人男性 6 名を被験者とした。本研究を行うにあたり、いずれの被験者にも本研究の目的、方法、医学上の貢献および危険性についての説明を書面と口答で説明し、被験者として実験参加の同意を得た。また、あらかじめ愛知医科大学医学部倫理委員会の承認を得た。

2-1. -6° ヘッドダウンベッドレスト中の体液分布測定

被験者に身体組成測定用電極 (Muscle- α) を両手首、両肘、両膝、両足首に装着した後、水平にセットしたベッド上で仰臥位姿勢をとらせた。10 分間の安静の後、ベッドの頭部側を -6° 下げることで頭部側へ体液シフトさせた状態 (模擬宇宙飛行) で 60 分間の安静を保たせた。

2-2. 短腕式遠心機を用いた人工重力負荷中の体液分布測定

被験者に身体組成測定用電極 (同上) を両手首、両肘、両膝、両足首に装着した後、短腕式遠心機上で足を外側にした仰臥位姿勢で 10 分間の安静をとらせた後、心臓の位置で 1.0G の人工重力負荷を 10 分間行わせた。

2-3. セグメント別 BIA 法を用いた体液分布測定

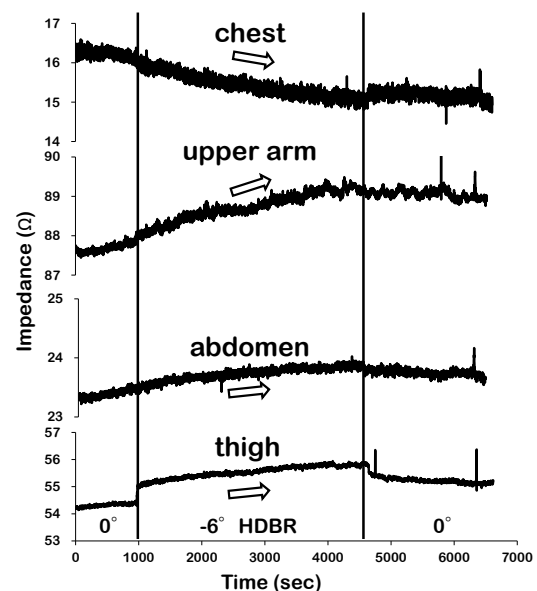
BIA は、身体組成が長軸方向に一樣な横断面積と導電率をもつ円柱モデルと仮定し、その身体へ微弱的な

高周波電流を印加すると、並列円柱組成では、通電性 (Δ/ρ) に優れた除脂肪量に支配的感度をもつ生体電気インピーダンス (Z) 情報が取得できる。③この Z 情報に対して、選択対象組成を基準とする定量測定技術で校正することにより、身体組成を推定することが可能となる³⁻⁴⁾。四肢誘導 8 電極法は、四肢に配置した 4 か所の印加電極と電圧計測電極の合計 8 か所の電極の中から、印加電極 2 か所 (対) と電圧計測電極 2 か所を選択して四電極法としてセグメント別の Z 計測を実施する。

3. 結果と考察

3-1. -6° ヘッドダウンベッドレスト中の体液分布の経時的変化 (図 3)

60 分間の -6° ヘッドダウンベッドレスト中では、胸部のインピーダンスが漸減し、この部位での体液量が増加していることが確認された。他方、上腕部、腹部、大腿部のインピーダンスは漸増し、体液量の減少が認められたことから、 -6° ヘッドダウンベッドレスト中の頭部方向への体液シフトが確認された。

Fig.3. Changes in impedance during -6° head-down bed rest for 60 min.

3-2. 短腕式遠心機を用いた人工重力負荷中の体液分布の経時的変化 (図 4)

人工重力負荷開始直後 (重力負荷漸増中) では、

胸部、上腕部および大腿部でのインピーダンスの急増（体液量の減少）や腹部でのインピーダンスの急減（体液量の増加）が認められた。1.0G での安定した人工重力負荷中のインピーダンスは、胸部や腹部ではほぼ定常状態を示し、上腕部や大腿部では漸減傾向（体液量の漸増）が認められた。また、人工重力負荷後は、身体各部位ともに速やかな回復傾向を示した。

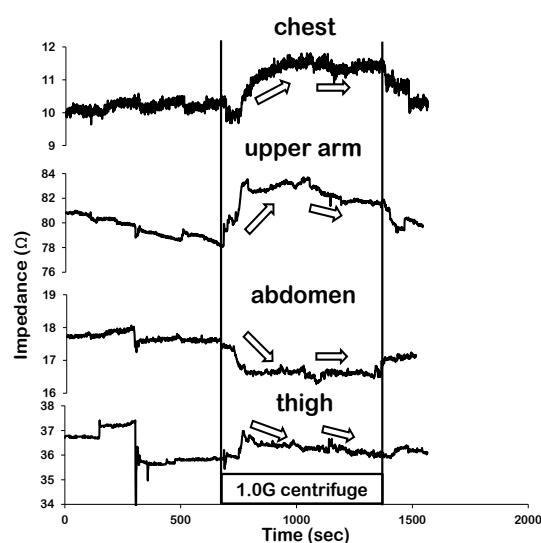


Fig.4. Changes in impedance during artificial gravity using a short arm centrifuge device.

今回、 -6° ヘッドダウンベッドレスト中および人工重力負荷中に頭部方向や下肢方向への体液シフトの経時的变化が確認されたことから、セグメント別 BIA の有用性が確認できた。本法が長期宇宙滞在時での使用が可能となれば、帰還時の起立耐性低下予防の指標となりうると考えられる。須藤ら⁶⁾は、BIA 法を用いて 90 日間の -6° ヘッドダウンベッドレスト中の体液分布を測定しており、 -6° ヘッドダウンベッドレスト開始直後のような短期的変化時や長期的変化時にも、下半身から上半身への体液シフトがみられたと報告している。

人工重力負荷開始直後では、身体各部位で急激なインピーダンスの増減（体液量の増減）がみられたが、これは漸増する重力負荷による下肢方向への内臓器官の移動や呼吸の変化および体動などが起因している可能性が考えられるため、急激な重力変化

時の体液変動に関してはさらなる検討が必要であるかもしれない。加えて、頭部の体液変化や細胞内外での体液移動を明らかにすることが今後の課題である。

参考文献

- 1) 西村直記、岩瀬 敏、菅屋潤壹ら：ISS で使用可能な人工重力+運動負荷装置の開発－AGREE プロジェクト－. Space Utiliz Res, 28 : 143-146, 2012.
- 2) Iwase S, Sugeno J, Nishimura N, et al.: Effectiveness of artificial gravity and ergometric exercise as a countermeasure comparison between every day and every other day protocols. Space Utiliz Res, 25 : 114-115, 2009.
- 3) Nyboer J: Electrical impedance plethysmography. Charles C Thomas, 1959.
- 4) Baumgartner RN et al.: Does adipose tissue influence bioelectric impedance in obese men and women? J Appl Physiol, 84: 257-262, 1998.
- 5) Ishiguro N et al.: Applicability of segmental bioelectrical impedance analysis for predicting trunk skeletal muscle volume. J Appl Physiol, 100: 572 - 578, 2006.
- 6) 須藤 正道、関口 千春、渡辺友紀子：90 日間の 6° ヘッドダウンベッドレストによる身体組成の変化. 宇宙航空環境医学 Vol. 43, No. 2, 75-88, 2006.