

第7章 身体組成モニタリング法としての生体インピーダンス法の有用性の検証

須藤 正道^{1,2}、関口 千春^{1,2}、渡辺 友紀子³

1. 目的

長期宇宙滞在に伴い、体液の移動、循環血液量の減少、体脂肪量の変化、筋肉量の低下などが報告され、その対策の1つとして宇宙飛行士は種々の運動をほぼ毎日軌道上で実施することを余儀なくされている。現在、これらの運動対策が適切に実施されているかの1つの指標として飛行中の体重変化を定期的に評価しているが、これは体液移動の因子なども含まれるため間接的である。また、筋肉量が減少し、脂肪量が増加すれば体重に変化は現れない。そこで筋肉量や体脂肪量の変化をモニターできればより直接的に運動の効果を評価でき、長期宇宙滞在時の宇宙飛行士の健康管理として有用であると考えられる。

生体インピーダンス法は非侵襲的且つ簡便に生体内の水分量の変化を測定することが可能であり、これを用いることにより体脂肪量や筋肉量を推定することが可能である。今回は90日間の6°ヘッドダウンベッドレストにより微小重力状態を模擬し、その間の生体インピーダンスの変化を測定し体液量、体脂肪率、推定筋肉量の変化を観察した。またDXA法（二重エネルギーエックス線吸収測定法）による脂肪量、筋肉量の測定結果と比較検討し生体インピーダンス法による身体組成計測の有用性を検討した。

2. 方法

健康な男性25名を対象として90日間の6°ヘッドダウンベッドレストによる模擬微小重力を負荷し、体液量、体脂肪率、推定筋肉量の変化を観察するため生体インピーダンスの変化を測定した。生体インピーダンスの測定は、ベースライン期間としてベッドレスト開始の13,10,8,3日前、ベッドレスト中の2,3,8,14,30,61,88日目、ベッドレスト後、回復期の1,2,6,13,44,93日目に行った。また、体脂肪率、推定筋肉量の算出に必要な身長および体重も同日に臥位のままで測定した。

生体インピーダンス測定は、タニタ社製8電極方式体組成計(BC-118)を改良して用いた。BC-118体組成計は体重計に付けられた足用電極とグリップ式の手用電極の間に一定の周波数の電流を流し、手、足、全身の生体インピーダンスと体重を測定し、入力された身長、性別と合わせて除脂肪量を推定し、体脂肪率、脂肪量、除脂肪量、推定筋肉量を出力するものであるが、この体組成計は従来地上での測定を前提としており、立位にて測定する装置である。しかし今回の実験は臥位での測定になるため、この装置の体重計に取り付けられた足底部の電極は使用できない。そこで足背部にゲル状電極を貼り付けるように変更し、臥位での測定ができるように改良した。また、装置本体も大型のため、ベッドサイドで使えるように小型にした。さらに体重測定を同時に行えないので別途体重を測定した。改良した装置の生体インピーダンス測定用電極は手用電極にはグリップ式、足用電極には足背部にゲル状電極（XTRON IS4000）を用い、一定の微弱電流（500 μ A、50kHz）を手

¹東京慈恵会医科大学 宇宙航空医学²宇宙航空研究開発機構 宇宙医学グループ³(株)エイ・イー・エス

一手、足一足、手一足間に流し、両手間、両足間、手足間（右半身、左半身）の4箇所の電圧を測定し、各部位の生体インピーダンスを測定した。（図1）

計測した生体インピーダンスは体組成（体液・組織は導電体、脂肪は絶縁体）によって変化する。この値は体液量の変化の指標となり、また、身長、体重の値で補正し、体脂肪率、推定筋肉量を求めることができる。体脂肪率および推定筋肉量の計算はタニタ社の重回帰式を用いた。改良した装置は日本で予備実験を行い、市販の装置と同様の結果が出ることを確認した上でベッドレスト実験に用いた。

身長の測定はベッド上の仰臥位で測定できるようにメジャーを改良し、頭足を挟む大型のノギスのようなものを作成し測定した（図2）。体重の測定は既存の装置で臥位の状態で測定した。

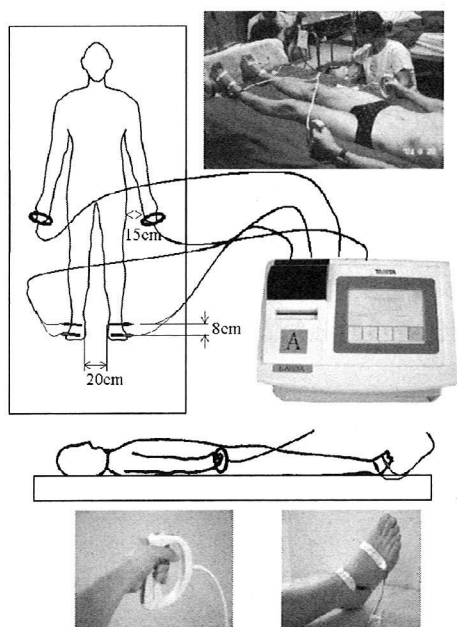


図1. 生体インピーダンス測定装置

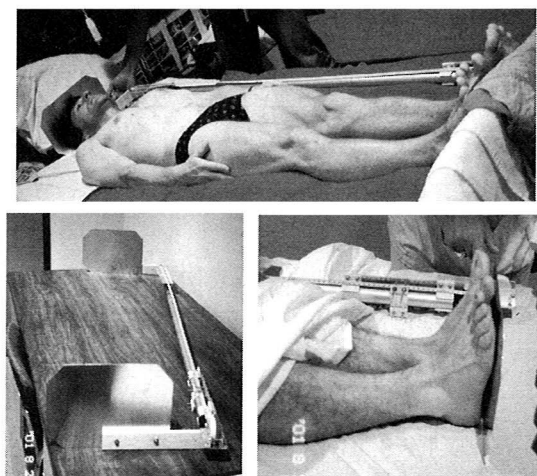


図2. 身長計

3. 結果

3. 1 全身インピーダンス値の変化

全身のインピーダンス値の変化を図3に示した。全身のインピーダンス値は今回測定した右半身と左半身のインピーダンス値を合計したものをを用いた。値は個人差が大きいため各個人のベースラインデータの平均値を基準として変化率であらわし、各群（対照群、運動群、薬剤投与群）の平均と標準偏差を求めた。図3を見ると全身のインピーダンス値はベッドレスト開始直後より5%ほど高くなり、ベッドレスト期間中ほぼその値を維持した。このことは全身の体液が減少したことを意味している。また、回復期にはインピーダンス値は減少し、体液量は増加していることを示した。しかし、対照群、運動群、薬剤投与群の3群間には有意な差は見られなかった。

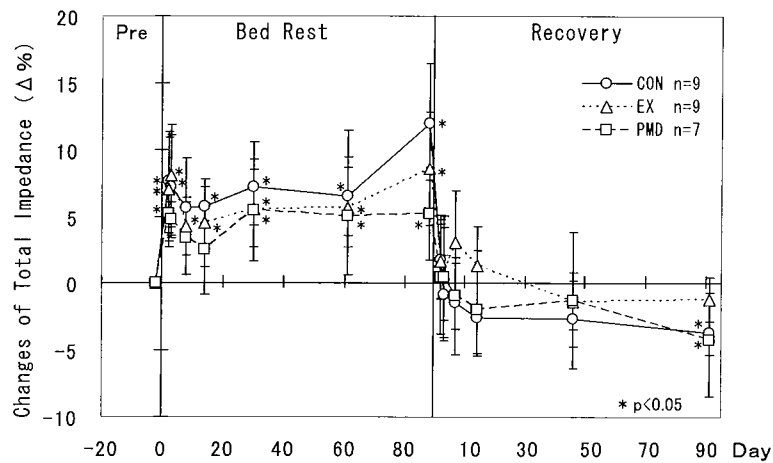


図3. 全身のインピーダンス値の変化 (○: 対照群、△: 運動群、□: 薬剤投与群、ベッドレスト前のベースライン値からの変化率の平均値および標準偏差)

体液量が増加すれば体重もそれに伴い変化すると考えられる。そこで体重の変化を図4に示した。値は各個人のベースライン値を基準として変化率であらわし、各群の平均値と標準偏差を求めた。体重はベッドレスト期間中低下し、回復期には増加を示した。これは図3に示した全身インピーダンス変化と逆の形の図となり、ベッドレスト中のインピーダンス値の増加、つまり体液量の減少と体重の減少が同じように変化したことを示している。

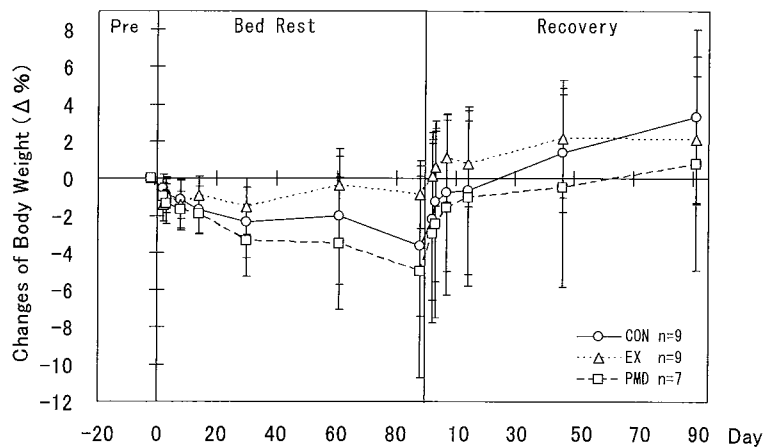


図4. 体重の変化 (○: 対照群、△: 運動群、□: 薬剤投与群、ベッドレスト前のベースライン値からの変化率の平均値および標準偏差)

尿量の変化と水分摂取量を図5、図6に示した。水分摂取量の回復期14日目からはデータを取得していないため記載していない。尿量、水分摂取量とも、ベッドレスト中わずかに増加する傾向にあるがほとんど変化は見られなかった。しかし、ベッドレストによる脱水状態を防ぐため、ベッドレスト中の水分摂取量は1日に体重1kgあたり30ml以上を目標と定めたため、1日に3,000mlまでの水分摂取が許可されていた(第1章、2.4項参照)。そのため、ベッドレスト中の食事の水分量も含めた総水分摂取量は約3,500mlとかなり多い値を維持した。また、ベッドレスト終了後3日間は体液減少を補う目的で水分摂取が奨励されたため、ベッドレスト終了後初期に水分摂取量、尿量の一過性の増加が見られた。その後はベースライン値に戻っている。尿量はベースライン、ベッドレスト中と変化は見られなかった。ベッドレスト終了後、回復期初期には水分摂取量と同じように一過性の増加が見られた。その後はベースライン値より少し低い値をとるが、安定していた。

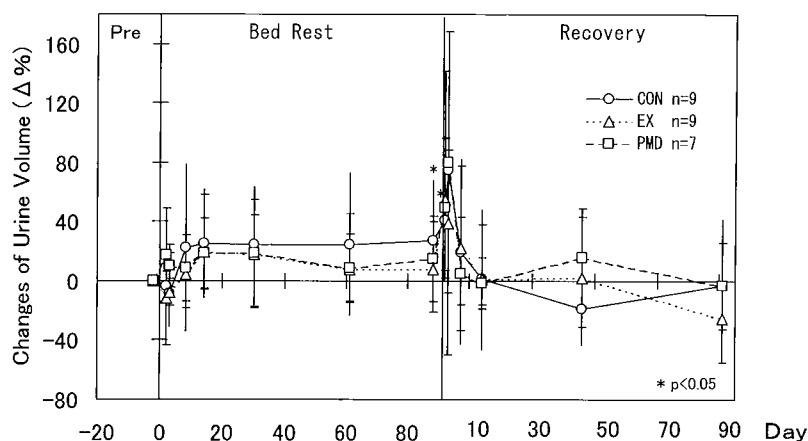


図5. 尿量の変化 (○: 対照群、△: 運動群、□: 薬剤投与群、
ベッドレスト前のベースライン値からの変化率の平均値および標準偏

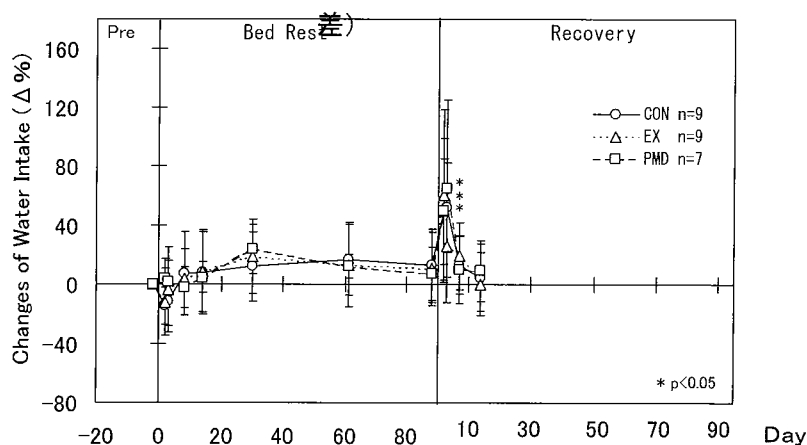


図6. 水分摂取量の変化 (○: 対照群、△: 運動群、□: 薬剤投与群、
ベッドレスト前のベースライン値からの変化率の平均値および標準偏差)

ヘマトクリット値の変化を図7に示した。値は各個人のベースライン値を基準として変化率であらわし、各群の平均と標準偏差を求めた。ベッドレストによりヘマトクリット値は上昇し、ベッドレスト後半はベースライン値に戻る傾向を示した。回復期では初期に低下を示したが、回復期44日目にはベースライン値に戻った。

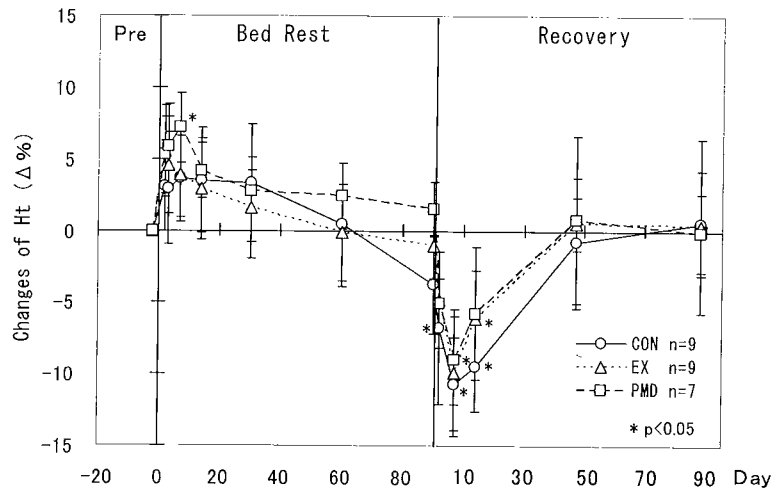


図7. ヘマトクリット値の変化 (○: 対照群、△: 運動群、□: 薬剤投与群、ベッドレスト前のベースライン値からの変化率の平均値および標準偏差)

3. 2 体液分布の変化

ベッドレスト開始直後から全身のインピーダンス値が増加しているため、体液分布はすべての部位で減少した。そこで全身インピーダンスの変化の影響を除去するために、各測定日の全身インピーダンスに対する下肢（両足）と両手、頭、体幹部を合計した上半身の値の割合を求め、体液の上半身と下肢の分布の変化を求めた。全身のインピーダンス値に対する上半身の体液分布の変化を図8に、下肢の体液分布の変化を図9に示した。対照群と運動群はベッドレストにより下肢の体液は減少し、上半身の体液は増加し、体液は下肢から上半身に移動していることが示された。また、ベッドレスト30日目からベッドレスト終了までその変化は直線的に増加した。薬剤投与群はベッドレスト14日目までは、対照群、運動群とは異なり、下肢の体液の増加、上半身の体液の減少が見られたが、ベッドレスト30日目からは下肢の体液の減少、上半身の体液の増加が観察された。この変化は他群より少なくベッドレスト終了直前にはベースライン値に戻る傾向が見られた。回復期では対照群と薬剤投与群はベースライン値より下肢の体液は増加、上半身の体液は減少した。運動群は逆に下肢での減少、上半身での増加が見られたが、ベースラインと比較して数%の変化であった。

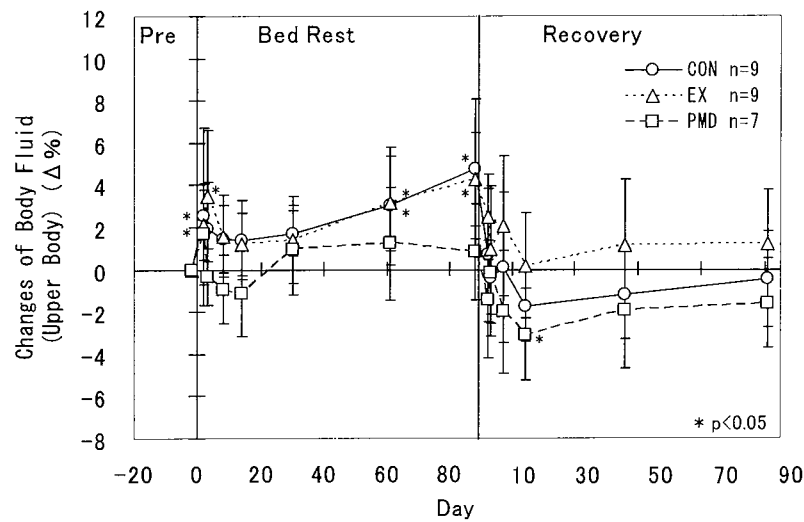


図8. 上半身の体液分布の変化（インピーダンスによる推定値）
（○：対照群、△：運動群、□：薬剤投与群、ベッドレスト前のベースライン値からの変化率の平均値および標準偏差）

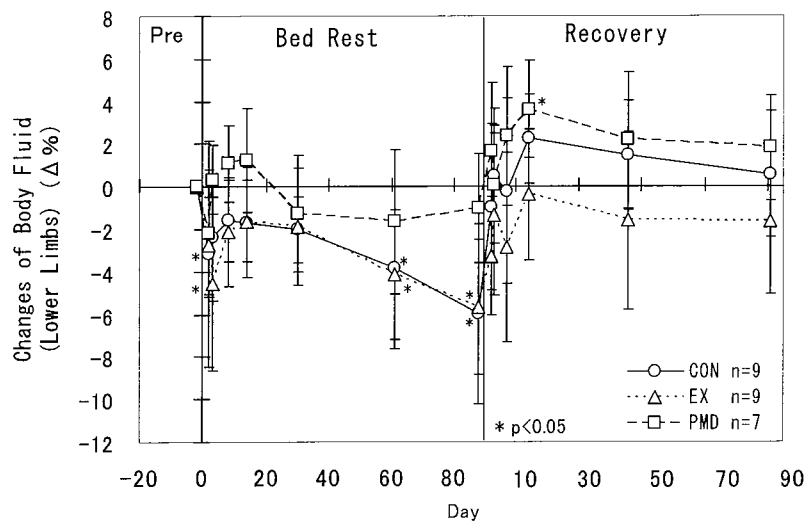


図9. 下肢の体液分布の変化（インピーダンスによる推定値）
（○：対照群、△：運動群、□：薬剤投与群、ベッドレスト前のベースライン値からの変化率の平均値および標準偏差）

3. 3 脂肪率および筋肉量の変化

次に各部位のインピーダンス値と身長、体重よりタニタ社製の重回帰式を用いて脂肪率と推定筋肉量を求めた。体脂肪率（全身）の変化を図10に示した。値は各個人のベースラインデータの平均値を基準として変化率であらわし、各群の平均と標準偏差を求めた。全身の脂肪率は対照群と運動群はベッドレスト直後より10%前後増加し、ベッドレスト期

間中 10%ほど高い値を維持した。薬剤投与群はベッドレスト直後に一過性の増加を示したが、ベッドレスト中はベースライン値と変化は見られなかった。回復期ではベースライン値より 10%ほど低い値で安定した。

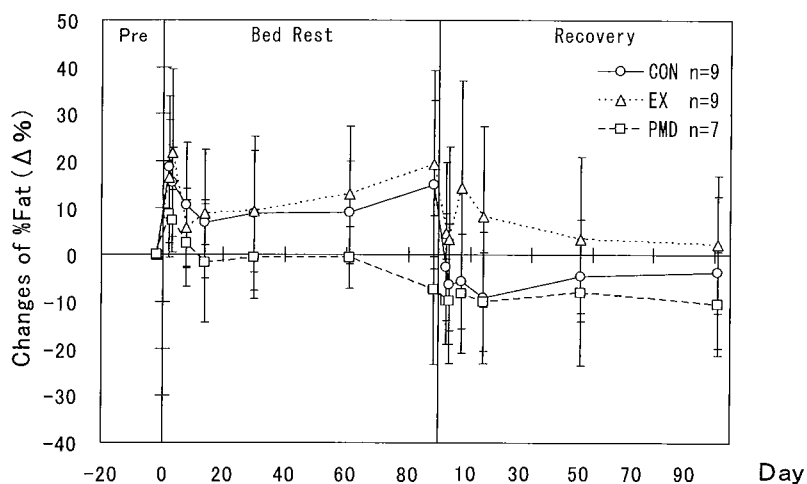


図 10. インピーダンス法を用いて測定した体脂肪率（全身）の変化
(○：対照群、△：運動群、□：薬剤投与群、ベッドレスト前のベースライン値からの変化率の平均値および標準偏差)

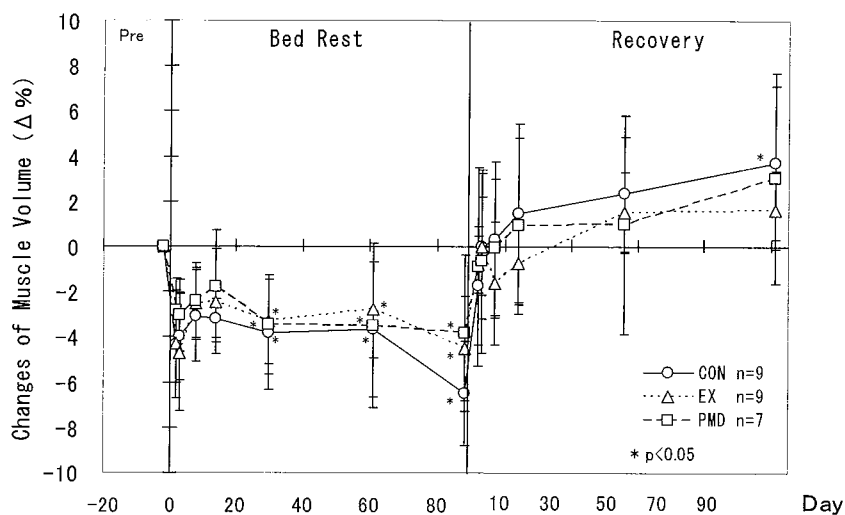


図 11. インピーダンス法による測定した筋肉量（全身）の変化
(○：対照群、△：運動群、□：薬剤投与群、ベッドレスト前のベースライン値からの変化率の平均値および標準偏差)

インピーダンス値より求めた推定筋肉量の変化を図 1 1 に示した。推定筋肉量はベッドレスト開始直後から 4 % ほど低下し、ベッドレスト期間中その値を維持した。またベッドレスト最終日には対照群はさらに低下した。運動群と薬剤投与群は対照群より変化は少なかった。ベッドレストが終了すると筋肉量は速やかにベースライン値に戻るが、回復期 44 日目と 93 日目にはベースライン値より 2 % ほど高い値になった。

インピーダンス法により求めた体脂肪率と筋肉量の値の信頼性を検討するために DXA 法で求めた値とインピーダンス法により算出した値との相関を図 1 2、図 1 3 に示した。今回の研究では DXA 法の測定はインピーダンス法ほど頻繁に行っていないため、DEX 法の測定日と同じ日または 1 日前後したインピーダンス法による測定値を同一日のデータとして相関を求めた。その結果、脂肪率には DXA 法とインピーダンス法に 0.615 の相関があり、筋肉量に関しては 0.853 と高い相関が見られた。

今回測定した全データに対し相関係数を求めた結果を表 1 に示した。相関係数 0.5 以上の相関が見られたものは、全身のインピーダンス値とインピーダンス法により求めた筋肉量、身長と相関が見られた項目は、体重、インピーダンス法により求めた筋肉量、DXA 法により求めた筋肉量、体重と相関が見られた項目はインピーダンス法による求めた脂肪率と筋肉量、DXA 法により求めた脂肪率と筋肉量、尿量と相関が見られた項目は水分摂取量、体液分布に関しては上半身と下半身、脂肪率と筋肉量に関してはインピーダンス法と DXA 法とで相関が見られた。

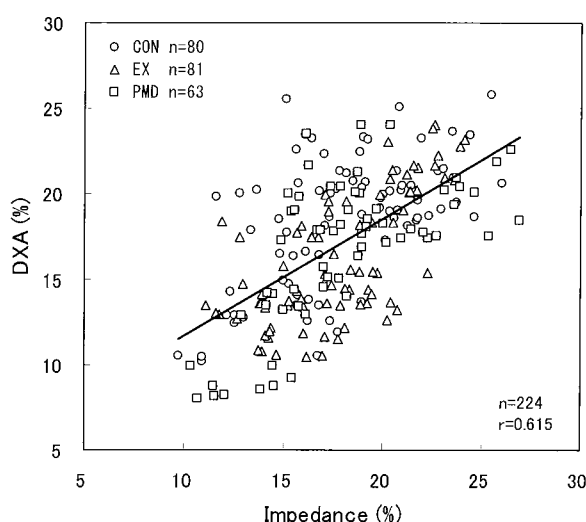


図 1 2. DXA 法とインピーダンス法による脂肪量の相関
(○：対照群、△：運動群、□：薬剤投与群)

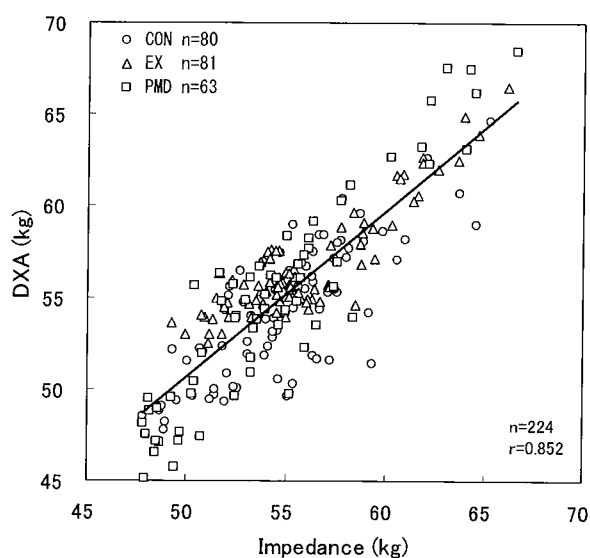


図13. DEXA法とインピーダンス法による推定筋肉量の相関
(○：対照群、△：運動群、□：薬剤投与群)

表1. 全データの相関

	IMP全身	身長	体重	尿量	水分 摂取量	体液分布		脂肪率		筋肉量		Ht
						上半身	下半身	IMP	DEXA	IMP	DEXA	
インピーダンス値(全身)	1.0000											
身長	0.2207	1.0000										
体重	-0.3662	0.5285	1.0000									
尿量	-0.0108	0.1401	0.2663	1.0000								
水分摂取量	-0.1227	0.0889	0.2528	0.7848	1.0000							
体液分布 上半身	-0.1419	-0.1401	-0.2049	-0.1962	-0.1375	1.0000						
下半身	0.1419	0.1401	0.2049	0.1962	0.1375	-1.0000	1.0000					
脂肪率 IMP	0.3440	0.2125	0.5757	0.2117	0.1349	-0.3410	0.3410	1.0000				
DEXA	-0.0309	0.0523	0.5210	0.0818	0.1000	0.0572	-0.0572	0.6150	1.0000			
筋肉量 IMP	-0.6628	0.5063	0.8694	0.1939	0.2249	-0.0446	0.0446	0.0981	0.2679	1.0000		
DEXA	-0.4452	0.5621	0.8219	0.2258	0.2202	-0.2879	0.2879	0.2538	-0.0433	0.8525	1.0000	
Ht	0.3186	0.1418	0.0536	0.0426	-0.0427	-0.0355	0.0355	0.2670	0.1184	-0.1011	-0.0069	1.0000

4. 考察

身体組成の測定には二重エネルギーエックス線吸収測定法（DXA 法）が用いられているが、この装置は大型かつ X 線の被曝などの問題により宇宙空間では現在のところ使用できない。小型の装置としては体重計付の体脂肪計が市販されているが精度に問題がある。そこで宇宙空間で利用可能な小型の装置で被曝などの問題のない方法としては、生体電気インピーダンス法が考えられる。今回はこの生体電気インピーダンス法を用いて身体組成、つまり脂肪量や推定筋肉量をベッドレスト実験において測定し、その有用性と宇宙飛行での利用の可能性について検討した。

生体電気インピーダンスは身体の 2 点間に一定の電流を流し、その間の電圧を測定することにより求めることができる。したがって一番単純な測定方法としては電流を流す電極が 2 つと電圧を測定する電極 2 つの 4 電極法がある。また、インピーダンス法による体脂肪率の測定は、体重計と一体化した装置（4 電極法）が普及しているが、この方法では電極が両足の足底部にあるため両足間のインピーダンス測定しか行えず、下半身の体格による誤差が大きくなり、身体各部の測定も行えない。Organ ら⁴⁾は身体各部に電極をつけることにより、各部分でのインピーダンスの測定が可能であることを報告している。この原理を利用して、両手の電極を追加し、両手と両足に極を設けた 8 電極法により腕や足の部分的な身体組成を測定することができる。今回の装置はこの方法を用いたが、市販されている装置は体重計と連動しているため、ベッドレスト実験や宇宙空間のように体重計に立位で乗れない場合は利用できない。そこで今回の実験のため、装置を改良し、体重計に付いている電極を貼り付け電極に変え、どのような体位でも測定可能にした。

本実験に先立ち、装置の検討を行った。手電極はグリップ式のため握る力による影響が出るかを検討した。軽く握った場合と強く握った場合では変化が見られなかったが、ベッドレスト実験では被験者に握り方は常に一定にするように指示を出した。足電極に関しては、本装置と体重計付きの市販装置では、本装置のインピーダンス値が低く出る傾向にあった。これは体重計に設置された電極は足底部で、貼り付け電極は足背部による違いによるものと考えられるが、インピーダンス値に差はあるもののその変化に関しては同じであり、測定には問題ないと判断した。

インピーダンス値は抵抗値を表しており、体の抵抗が高くなれば大きくなり、低くなれば小さくなる。体の組成で抵抗に関与するものは、導電体である、体液（血液、細胞液など）、筋肉である。今回用いた装置で測定するインピーダンス値は主に体液の変化を観察していることになる。

全身のインピーダンス値の変化がベッドレスト開始直後およびベッドレストから回復直後に大きく変化している（図 3）。これはベッドレスト前後の測定は水平臥位、ベッドレスト中は 6 度ヘッドダウンでの測定のため体位の 6 度の変化によるものと思われる。須藤ら⁹⁾の報告では、体位変換角度が 6 度と 10 度とで違うが、体位を水平から 10 度ヘッドダウンしたことにより直ち（10 分以内）にインピーダンス値が変化することを報告している。また、Montgomery³⁾はインピーダンス法により 7 日間の水平および 6° ヘッドダウンベッドレスト実験を行い、インピーダンス値の変化は我々の結果と同様にベッドレスト開始直後

に変化し、下肢の体液量は減少し、胸部の体液量は増加し、下肢の水平と6°ヘッドダウンとでは変化が見られなかったが、胸部では6°ヘッドダウンが水平より増加量は大きかったことを報告している。

ベッドレスト開始直後に体重が減少していることは(図4)、体重に比較的早く影響を与える体内の水分量の減少が考えられる。ベッドレスト中の食事は制限されており、ほぼ変化はない。

ベッドレスト中のインピーダンス値が高い原因としては、ベッドレスト中の尿量(図5)は有意ではないが増加傾向にあるため、全身の水分が減少したと考えられる。水分摂取量(図6)もやや増加傾向にあるが、尿量より変化は少なかった。また、ベッドレスト中のヘマトクリット値(図7)は増加していることから水分バランスはマイナスになり、軽い脱水症状であったと考えられる。ベッドレスト中の食事は制限されておりほぼ変化はないことと、ヘマトクリット値の増加より、ベッドレスト中の体内の水分量は減少し、体の抵抗が増加しインピーダンス値も増加したものと考えられる。

インピーダンス値には個人差があるため、今回のデータ解析にはベッドレスト前の値を基準として変化率で表した。しかし前述したように体位が水平から-6°へ変化しただけでも体液分布が変化するため、本来ならベッドレスト開始後、最初の測定値からの変化を求めた方がよいと考えられる。しかし、今回の実験では、ベッドレスト開始後最初の測定値に個人差によるばらつきが大きくなったため、ベッドレスト前に4回測定した値を平均してコントロール値とした。

インピーダンス値は抵抗値であるため体内水分量と反対の動きをする。つまりインピーダンス値が高ければ水分量は少なく、インピーダンス値が低ければ水分量は多いことを意味している。両手間のインピーダンス値から求めた上半身の水分量と両足間のインピーダンス値から求めた下半身に水分量(図9)からみると、水分は6°ヘッドダウンベッドレストにより下半身から上半身へ移動していることがわかる。また、その変化はベッドレスト直後に大きく変化し、その後やや回復傾向にある。このことは、須藤らが開発した体液分布測定装置を用いて、宇宙開発事業団(現 JAXA)つくば宇宙センターで行った宇宙環境利用フロンティア共同研究のベッドレスト研究においても同様の結果が報告されている^{6, 7)}。フロンティア共同研究のベッドレスト実験は7日間と短期間で、今回は90日間と長期間のベッドレスト実験であったこともあり、ベッドレスト8日目以降も体液は下半身から上半身への移動が増加したかのようにみえる。しかしこれらの変化はインピーダンス値の変化のため、体液のみでなくその他体組成などの要素も考慮しなければならず、今後更なる検討が必要である。

実験条件による変化としては、対照群と薬剤投与群は、ベッドレスト中の条件は同じでインピーダンス測定には影響がないと考えられる。運動群は、フライホイールを用いたスクワット運動をベッドレスト5日目から、3日に1回の頻度で行っているが、一回の運動量は約30分と少ない。体液分布、体脂肪率(図8、9、10)においてベッドレストによる変化は対照群と運動群はほぼ同じ傾向を示しているが、薬剤投与群は統計的には有意ではないが他の2群より変化が少ない傾向を示した。体脂肪量に関してはベッドレストにより

運動量が低下するため対照群および薬剤投与群の体脂肪率は増加し、運動群は運動の効果が見られ体脂肪量は減少することが予想されたが、統計的には3群の差は見られなかった。これは運動群の運動量が体脂肪率、筋肉量に変化を与えるほど大きくなかったためと考えられる。

インピーダンス法による体脂肪率の測定原理は^{1,2)}、インピーダンスは体内の水分量を推定するもので、体脂肪は水分含有量が少なく導電性は悪く、電気抵抗は大きくなる。脂肪以外の組織では水分が多く電気抵抗は小さくなる。インピーダンスは除脂肪量の断面積に反比例し、長さ（身長）に比例する。したがって生体インピーダンスは除脂肪量の体積を反映したものと考えられる。また、インピーダンス法により求める除脂肪量は年齢、性別、人種、身体活動レベルなどによっても異なるため、各集団の推定式が必要となる。

今回測定した装置はタニタ社の製品を改良したもので、体脂肪率の算出には、タニタ社が独自に開発した推定式を元に計算した。この推定式は、脂肪組織を絶縁体と仮定して、身体各部のインピーダンス値を測定し、別途測定した身長、体重データより求めるもので、年齢による体格の違いなども考慮するため年齢、性別などもパラメータとして膨大なデータ解析により求められたものである。これにより推定された除脂肪量を体重から引けば体脂肪量を求めることができ、体重との比により体脂肪率を算出することができる。また、体の組織は脂肪、筋肉、骨、皮膚でできており、筋肉量から骨と皮を除いたもので推定できる。

今回の測定において脂肪率（図10）はベッドレストにより開始直後に一過性に増加する傾向を示し、ベッドレスト中は対照群と運動群は10%ほどベッドレスト前より高い値を示し、薬剤投与群は変化が見られなかった。しかし統計的な有意差は見られなかったため、体脂肪率はベッドレストにより変化しなかったと考えられる。須藤ら⁸⁾は、7日間の6°ヘッドダウンベッドレストを行い、両手間のインピーダンス値より求めた体脂肪量が減少したことを報告している。この原因としては、ベッドレスト中の食事摂取量をベッドレスト前の80%に制限したため体重が減少したためとしている。しかし、測定した装置は両手間のインピーダンス測定のみで別途体重、身長を測定しパラメータとしている。このときの体重測定は、体重測定ができるI.C.U.ベッドを用いて6°傾斜状態で測定したため体重測定に誤差があったことを指摘している。今回の実験では体重は専用の体重計を用いて測定し、身長も新たに作成した臥位のまま測定できる装置を用いたため精度は高いものと考えられる。

推定筋肉量（図11）は、3群の差はなく、ベッドレスト中有意に減少した。この原因としては、推定筋肉量の算出は体重から除脂肪量と骨、皮膚の重量を引いたのもので、今回の結果から体脂肪量に変化がなく、体重が減少したため筋肉量が減少したのと考えられる。

生体インピーダンス法による身体組成モニタリングの有用性を検証するためには、信頼性のあるデータと比較する必要がある。今回のベッドレスト実験ではDXA法を用いた脂肪率および筋肉量を測定している。そこでインピーダンス法とDXA法とを同じ日または1日前後して測定したときのデータについて相関を検討したところ（図12、図13）、脂肪率

および筋肉量に関して相関が見られた（脂肪率 $r=0.615$ 、筋肉量 $r=-0.852$ ）。この相関において3群間による差、ベッドレスト前・中・回復期による相関の違いは見られなかった。しかし、DXA法での測定日がベッドレスト7日目からと回復期6日目からとなっており、インピーダンス値が急激に変化したベッドレスト初期および回復期初期のデータは得られていない。したがって、生体インピーダンス法により求めた脂肪率および筋肉量は、安定したときのデータでは比較的精度の高いものと考えられるが、体位が急激に変化したときはその値の信頼性に未だ検証が必要であることが示唆された。

今回のインピーダンス測定で、ベッドレスト直後およびベッドレスト終了直後のすべての値の変化が大きくあらわれた。これは筋肉が短時間に大きく変化することは考えにくいことなどから体液移動による変化がもっとも大きいと考えられる。

また、生体組織は周波数分散特性を持っていて、低周波領域では電流は細胞膜をとおり難いため細胞外液量の測定ができ、高周波領域では細胞膜も通過するので総水分量（細胞内液量+細胞外液量）の測定が可能である。⁵⁾ この方法を用いることにより今回測定した単周波数の測定より精度を上げることも可能となってきた。

以上のことより、この生体インピーダンス法により求めた推定筋肉量を単純に宇宙飛行時の筋肉量変化の推定に使用するにはまだ問題があるが、基準となる値を宇宙飛行初期とし、その変化量などで推定することは可能であると考えられる。

5. 結語

長期宇宙滞在に伴う、体液の移動、循環血液量の減少、体脂肪量の変化、筋肉量の低下など簡易的に宇宙空間で測定できれば、滞在中の運動対策や帰還時の起立耐性低下予防の指標とすることも可能である。そこで生体インピーダンス法による身体組成計測の有用性を検討した。

身体組成の測定は、タニタ社製 8 電極方式体組成計(BC-118)を改良して用いた。生体インピーダンスの測定は、ベースライン期間としてベッドレスト開始 13,10,8,3 日前、ベッドレスト中の 2,3,8,14,30,61,88 日目、ベッドレスト後回復期の 1,2,6,13,44,93 日目に行った。

上半身の体液量は、対照群と運動群はベッドレスト開始直後に増加し、ベッドレスト期間中増加したままであった。ベッドレスト後、回復期では1週間ほどでベッドレスト前値に戻った。下半身の体液量は、対照群と運動群はベッドレスト開始直後に減少し、ベッドレスト期間中減少したままであった。薬剤投与群の、上半身および下半身の体液量は対照群、運動群より変化は少なかった。

脂肪率は、対照群と運動群はベッドレスト中増加したが、薬剤投与群には変化が見られなかった。推定筋肉量は、3群の差は見られずベッドレスト中低下した。

インピーダンス法により求めた体脂肪率と筋肉量の値の信頼性を検討するためにDXA法で求めた値とインピーダンス法により算出した値との相関を調べた結果、脂肪率にはDXA法とインピーダンス法に0.615の相関があり、筋肉量に関しては0.853と高い相関が見られた。

今回の結果から、インピーダンス法により体液は下半身から上半身に移動していること、体脂肪率、推定筋肉量の変化はDXA法と相関が見られたことなどから、インピーダンス法による体組成計は宇宙空間においても利用可能な装置と考えられる。しかし、急激に体位が変化したときは、体液分布の変化の影響を受け脂肪率や筋肉量の推定に誤差が生じる可能性がある。

最近開発された装置ではインピーダンス測定 of 周波数を変えることにより、細胞内、細胞外の水分量を推定できるようになっている。今後、インピーダンス法による体組成測定の有用性を検討するため、装置の改良等を加え、精度を上げ、実際の宇宙飛行で利用可能な装置を開発した上、長期滞在時の実験が必要と考えられる。

謝辞

本研究を行うに当たり、装置の改良、測定データの解析に多大なるご援助を頂いた、株式会社タニタ開発推進部の佐藤等氏、ならびに西澤美幸氏に深く感謝いたします。

【参考文献】

1. Chumlea, W.C., Guo, S.S.: Bioelectrical impedance and body composition: present status and future directions. *Nutrition Reviews*. 52(4), 123-131, 1994.
2. Lukaski, H.C., Johnson, P.E., Bolonchun, W.W. and Lykken, G.I.: Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *Am. J. Clin. Nutr.* 41(4): 810-817, 1985.
3. Montgomery, L.D.: Body volume changes during simulated microgravity II: Comparison of horizontal and head-down bed rest. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 64: 899-904, 1993.
4. Organ, L.W., Bradham, G.B., Gore, D.T. and Lozier, S.L.: Segmental bioelectrical impedance analysis: theory and application of a new technique. *J. Appl. Physiol.* 77(1): 98-112, 1994.
5. 酒本勝之、東泉隆夫、金井 寛：体肢の電気インピーダンスの測定と解析。医用電子と生体工学。17(4)：264-270、1979.
6. 須藤正道、栗原 敏、関口千春、泉龍太郎：7日間のベッドレストが体液分布におよぼす影響。宇宙航空環境医学。34(4): 126, 1997.
7. Sudoh, M., Sekiguchi, C. and Kurihara, S.: Changes in body fluid distribution during 7 days 6° head-down bed rest. *J. Gravitational physiology*. 6(1): 155-156, 1999.
8. 須藤正道、関口千春、栗原 敏：7日間の6° head-down bed restによる体脂肪の変化。宇宙航空環境医学。37(4): 87, 2000.
9. 須藤正道、横田邦信、川上憲司、栗原 敏：インピーダンス法による体液分布の測定。宇宙航空環境医学。34(1): 61-67, 1997.