

研究資料論文

姿勢変化に伴う体液分布の経時的変化
- 美浜町在住の高齢者を対象として -

Time cause of body fluid distribution during posture change
- For elderly living in Mihama Town -

西村 直記¹⁾ 千葉 洋平¹⁾ 植田 真帆¹⁾ 吉田 文久¹⁾
杉本 直俊²⁾ 増尾 善久³⁾

Naoki NISHIMURA¹⁾, Yohei CHIBA¹⁾, Maho UEDA¹⁾, Fumihisa YOSHIDA¹⁾
Naotoshi SUGIMOTO²⁾, Yoshihisa MASUO³⁾

1) 日本福祉大学 スポーツ科学部

Faculty of Sport Sciences, Nihon Fukushi University

2) 金沢大学 医薬保健研究域医学系

Graduate School of Medical Science, Kanazawa University

3) 愛知医科大学 医学部 生理学講座

Department of physiology, School of Medicine, Aichi Medical University

Abstract : Skeletal muscle is known as "water storage organ", but in elderly people with reduced skeletal muscle mass, orthostatic hypotension tends to be caused by decrease in body fluid volume and muscle pump action. Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) is adopted as a simple method to measure the body composition including the human body fluid volume, muscle mass, and body fat rate. Using BIA, we investigated time-course changes in the body fluid distribution in various body segments with posture change of the elderly subjects. The body fluid distribution was measured in 5 body segments during the 15 min supine position and 15-min standing position. The body fluid volume in the trunk central part was observed to decrease or increase during standing position in elderly subjects. The body fluid volumes in the arms, abdomen, and lower limbs gradually increased during standing position. It was suggested that BIA provides more information on the indices of orthostatic intolerance and heatstroke.

キーワード : 身体組成, 体液分布, BIA, 起立耐性, 熱中症

Keywords : body composition, body fluid, bioelectrical impedance analysis, orthostatic tolerance, heatstroke

抄録 骨格筋は“水の貯蔵器官”として知られているが、骨格筋量が減少した高齢者では、体液量の減少や筋ポンプ作用が低下することによって起立性低血圧を引き起こしやすくなる。本研究は、美浜町に

在住の高齢者の身体組成と起立耐性について検討した。高齢女性12名(61~77歳)を対象とした。15分間の仰臥位安静の後に立位姿勢を15分間保たせた際の身体各部位の体液分布の経時変化を、生体電

気インピーダンス法 (Bioelectrical Impedance Analysis: 以下 BIA) を用いて連続記録した。仰臥位から立位に姿勢変化した際の体液分布応答は、特に体幹中部において特徴がみられ、立位姿勢中に減少傾向を示すものや、増加傾向を示すものがみられた。これらについては下肢骨格筋量、体脂肪量および体重支持指数などの要因が関連する傾向がみられた。よって、BIA を用いた体液分布応答は、起立性低血圧や熱中症予防の指標となる可能性があると考えられる。

1. 緒言

体液は、細胞膜の内側に存在する細胞内液と外側に存在する細胞外液に区分され、細胞外液は、さらに間質液と血漿に区分される¹⁾。成人男性の体液量は体重の約 60% であるが、相対的に脂肪細胞の多い肥満者や成人女性の体液量は体重の約 50% と体液量は減少する¹⁻³⁾。また、高齢者の体液量も体重の約 50% であるが、細胞外液量は成人男性と同じく体重の約 20% であることから、高齢者の体液量の減少は細胞内液量が減少したことによる¹⁻³⁾。骨格筋は“水の貯蔵器官”として知られているが、高齢者では成人と比較して骨格筋量が減少しているとの報告^{4,5)}がみられる。よって、高齢者の細胞内液量の減少には少なからずとも骨格筋細胞数の減少が関与していると考えられる。特に、下肢での骨格筋量の減少は心臓へと還流する血液量の手助けとなる筋ポンプ作用を低下させるため、仰臥位から立位への姿勢変化時に起立性低血圧を引き起こす一因にもなる。加えて、体液量の減少は循環血漿量を減少させる原因にもなる。汗は汗腺の分泌部に供給される血漿から作られるが、汗腺へと流れ込む血漿流量の減少は発汗量を減少させるため、これが熱中症の発生率を高める直接的原因となる。よって、高齢者の身体各部位の体液分布や姿勢変化時の応答特性を把握することは、健康維持増進のみならず熱中症による死亡事故を減少させる一助となると考えられる。

BIA は、体内に微弱な高周波電流を通電した際に得られる生体電気インピーダンス (以下インピーダンス) の情報を利用することで、非侵襲的に体脂

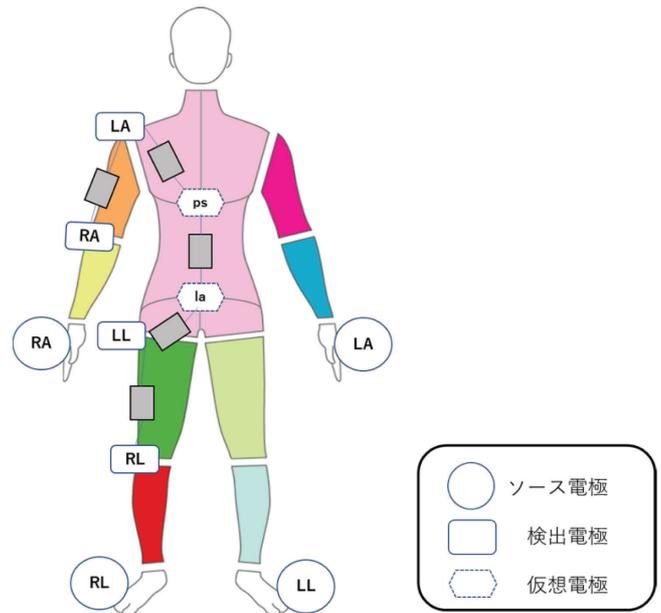


図1 BIA 右半身近位誘導法における電極配置図

肪量、骨格筋量および体液量 (除脂肪量の 73.2%) などの身体組成の分析が可能な方法である⁶⁾。水分をほとんど含まないために電流を通しにくい脂肪組織ではインピーダンスは高値を示すが、水分を多く含むために電流を通しやすい臓器や骨格筋のような除脂肪組織ではインピーダンスは低値を示す。近年では、四肢末梢部に電流を印加するソース電極を、四肢遠位部および近位部に電圧を計測する検出電極を装着し、遠位と近位の誘導法を切り替えて計測する四肢誘導 12 電極法を用いることで、全身のみならず細分化された身体組成情報を経時的に測定することが可能となった⁶⁾。さらに、四肢近位誘導法の検出電極配置を一部変更することで、右半身のみに特化した細分化計測を可能とした (図 1; 右半身近位誘導法 (四肢近位誘導法の変形))。

日本福祉大学は、さまざまなスポーツや文化活動を通じて地域の方々と学生がふれあい、明るく活気あるまちづくりや地域の方々の健康増進を図る目的で、平成 24 年に愛知県知多郡美浜町との連携事業として総合型地域スポーツクラブ「みはまスポーツクラブ」を設立した。これまでにボッチャ、カローリングおよびノルディックウォーキングなどのスポーツプログラムや、救命救急に関する指導講習会などのイベントを実施してきており、現在では 300 名を

超える会員数となっている。

本研究は、「みはまスポーツクラブ」および同地域の老人会にてヨガ教室や種々の健康づくり教室に参加している高齢女性を対象に、身体組成および姿勢変化時の右半身各部位の体液分布応答の経時変化について検討した。

1. 方法

被験者

高齢女性 12 名 (年齢: 61 ~ 77 歳 (69.7 ± 5.7 歳), 身長: 155.2 ± 4.3 cm, 体重: 52.4 ± 6.4 kg, BMI: 21.7 ± 2.0) を対象とした。すべての被験者には実験の目的, 方法および予測される利益と危険性やそれに対する安全対策についての説明を行い, 被験者として参加の同意を得た上で実験を実施した。また, 本研究は, 愛知医科大学医学部倫理委員会の審査を受け, 承認を得た (承認番号: 2016 - M014) 上で, ヘルシンキ宣言に示されたヒトを対象とする医学研究の倫理的原則に従って行った。

実験手順

実験は, 日本福祉大学 SALTO 内のスポーツ生理学実験室で実施した。すべての被験者には, 発汗などによる体液損失を回避するために, 実験前に激しい運動を行うことを禁止させた。室温 28 °C に設定した実験室にて, 被験者に半袖シャツと半ズボンを着用させた。BIA を用いて, 簡易ベッド上で仰臥位姿勢をとらせ, 5 分間の安静時間を設けた後, ソース電極を四肢末梢甲部端に固定し, 検出電極を四肢遠位 (手首・足首甲部中央) と四肢近位 (橈骨点, 膝関節点) に配置し, 遠位と近位の誘導法を切り替えて計測する, 四肢誘導 12 電極法を用いて全身および細部身体組成 (四肢遠位部および近位部骨格筋量, 体脂肪量, 体液量, 除脂肪量など) を測定した。次に, 四肢近位誘導法の検出電極配置をベースとして, 右半身の橈骨点, 膝関節点, 肩峰点, 大転子点へと一部の電極配置を変更することで, 右半身に特化した細分化連続計測モードへと移行した。その後, 仰臥位姿勢にて 15 分間の安静をとらせた後, 速やかに立位へと姿勢を変化させた状態で 15 分間

保たせた。その際右半身は 5 分割 (右上腕部, 右体幹上部, 体幹中部, 右体幹下部, 右大腿部) で計測され, 各部位の体液分布の経時変化を, BIA 右半身近位誘導法 (図 1) として 1.5 秒周期で連続記録した。尚, 体幹部には細分化するための電極を一切設けていないが, 等電位法の考え方を適用することで, 「鳩尾付近」と「臍下付近」を仮想電極位置と仮定でき, 体幹部を右体幹上 (胸) 部と体幹中部 (左右含む) と右体幹下 (腰) 部に細分化した計測を実現している⁶⁾。また, 姿勢変化における左右肢の情報は, 同一と仮定し, 右半身のみの計測とした。さらに, 下肢部と上肢部の体液分布応答の情報は, 近位部は遠位部と類似した挙動を示し, 測定中の体動などによるアーチファクトの影響を考慮して, 近位部 (大腿部と上腕部) のみで代表した。測定周波数は 5KHz, 50KHz, 250KHz の 3 種類を用いたが, 本研究では細胞外液に支配的感度を有する 50kHz のデータを採用した。また, 下肢の筋力評価指数である体重支持指数 (WBI_{BIA}) については, MRI 法を基準とした BIA により推定した大腿四頭筋量および大腿四頭筋量と等尺性膝伸展筋力の関係から抽出した推定式から算出した。実験終了後には速やかに水分補給を行わせた。

統計処理

対象者の身体組成値は, 平均値 \pm 標準偏差で示した。また, 起立姿勢時の体液量の増加群と減少群との比較には, 対応のない Student's t-test (両側検定) を用い, $p < 0.05$ を統計的に有意とした。

2. 結果

図 2 に仰臥位から立位へと姿勢を変化させた際の体液分布の経時変化についてインピーダンスを指標として示した。上腕部および大腿部では, 立位姿勢中にインピーダンスの低下 (体液量の増加) がみられたが, この傾向はほぼすべての被験者で同じであった。他方, 体幹上 (胸) 部と体幹下 (腰) 部を外した体幹中部でのみ, 7 名の被験者が立位姿勢中にインピーダンスが上昇傾向 (体液量の減少) を示したのに対し, 5 名の被験者では立位姿勢中にインピー

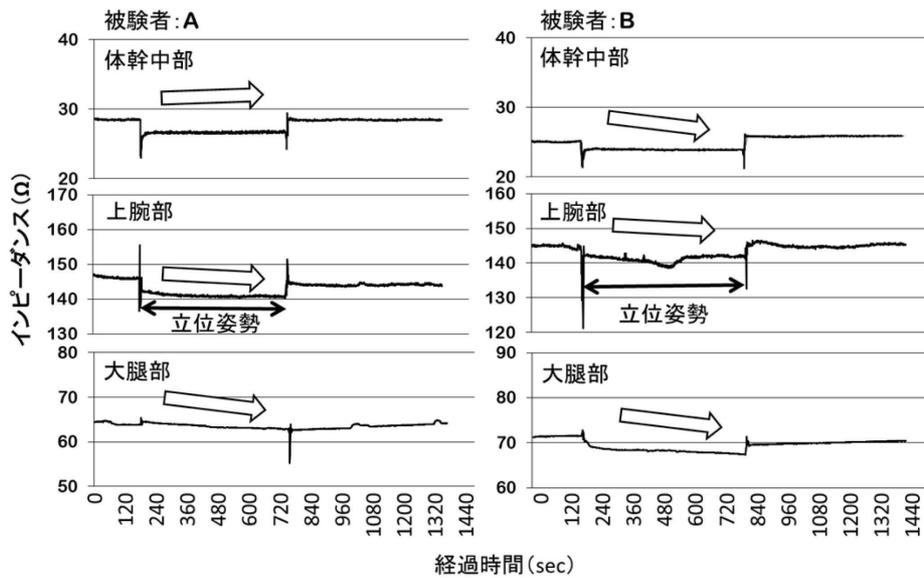


図2 姿勢変化時の身体各部位の体液変動

表1 仰臥位安静時の身体組成

	減少群	増加群
体液量 (%)	49.3 ± 2.7	46.8 ± 6.0
骨格筋量 (%)	31.0 ± 2.1	29.2 ± 1.8
体脂肪量 (%)	32.6 ± 3.7	36.0 ± 8.3
除脂肪体重 (%)	67.4 ± 3.6	64.1 ± 8.2
体重支持指数 (WBI _{BIA})	0.723 ± 0.1	0.678 ± 0.1
骨格筋バランス (下肢/上肢) (%)	465.22 ± 26.4	454.93 ± 39.8

ダンスが低下傾向（体液量の増加）を示した。体幹上（胸）部と体幹下（腰）部は、隣接する上腕部や大腿部の影響および呼吸や体動などのアーチファクトの影響で有用な傾向が認められなかった。

この差異の機序を考えるべく、仰臥位姿勢安静時の身体組成を立位姿勢中に体幹中部の体液量が減少した群と増加した群に分けて解析した（表1）。その結果、減少群では増加群と比較して全身の体液量（%）は高値を示した。また、体重当たりの全骨格筋量（%）、下肢骨格筋量（%）および除脂肪量（%）についてもそれぞれ高値を示した。更に、下肢と上肢の左右を合わせた骨格筋バランス（下肢/上肢）は、減少群（465.22 ± 26.4%）の方が増加群（454.93 ± 39.8%）よりも下肢骨格筋の割合が高く、WBI_{BIA}についても減少群が0.723 ± 0.04であったのに対し、増加群では0.678 ± 0.01と減少群が高値を

示した。しかしながら、いずれのパラメーターにも有意差は認められなかった。

3. 考察

一般的に、高齢者は成人と比較して体液量が減少していることが知られている¹⁻³⁾。その原因としては、水の貯蔵庫である骨格筋量の減少、咀嚼機能や食欲の低下による食事量の減少、腎機能低下による水分保持機能の低下、口渴中枢の機能低下や温冷感覚閾値の上昇による飲水量の減少などがあげられる^{1,4)}。中でも、骨格筋量の減少は健康な高齢者においてもみられ、特に下肢での骨格筋量の減少率が最も大きいとされているが⁷⁾、これが姿勢変化時の起立性低血圧を引き起こすリスクを上昇させることにつながる。本研究は高齢女性を対象に、仰臥位から立位への姿勢変化時の身体各部位の体液分布応答、

BIA 右半身近位誘導法を用いて経時的に観察した。

本研究の結果から、ほとんどの被験者において立位姿勢中に上腕部および大腿部での体液量の増加がみられたことから、下肢方向（重力方向）への体液シフトが確認された（図2）。スターリングの法則に従えば、起立による下肢方向への体液シフトは静脈還流量を減少させるため、心拍出量が減少して動脈圧が低下する。しかしながら、健常者では自律神経性調節（動脈圧受容器反射）により血管収縮が起こるため、実際にはほとんど血圧の低下はみられない。自律神経性調節と共に、静脈還流量を増加させて血圧を維持する役目を担っているのが下肢の筋ポンプ作用である。上述したように、高齢者では下肢の骨格筋量の減少が認められることから、筋ポンプ作用が低下する可能性が高まる。本研究では、すべての被験者が15分間の立位姿勢を完遂し、立位姿勢中に起立性低血圧の症状は認められなかったことから、自律神経性の調節機能は正常であると考えられる。

一方、体幹中部では立位姿勢中に体液量が減少する者と増加する者が認められた（図2）ことから、これらを2群に分けて仰臥位姿勢安静時の身体組成について検討した。その結果、減少群では増加群と比較して全身の体液量（%）はやや高い傾向がみられた。また、体重当たりの全骨格筋量（%）や下肢骨格筋量（%）も減少群でやや高い傾向を示したことから、下肢の筋力評価指数である WBI_{BIA} についても減少群との間に差がある傾向がみられた。これらの結果から、下肢骨格筋機能が高い高齢者では、全身の体液量（%）が多く、立位姿勢時の体幹中部の体液は減少する傾向にあるということになる。また、筆者らが予め行った若年者を対象とした予備的試験の結果では、立位姿勢中に体幹中部の体液量は減少した（未発表）。つまり、下肢骨格筋機能が高い高齢者では、若年者と同じ体液分布応答を示したことになる。しかしながら、下肢骨格筋機能の差異がどのような機序で体幹中部の体液変動に差異をもたらしたのか、もしくは別の機序によるものなのかについてはさらに検討が必要である。また、BIAで捕捉している体幹中部とは、「鳩尾付近」と「臍

下付近」区間に位置し、腎臓や副腎髄質などが含まれることから、体液調節機序との関係についてもさらなる検討の余地がある。

加齢に伴う下肢骨格筋量の減少や筋力低下はサルコペニアとも呼ばれ、身体機能の低下（転倒リスクの上昇）や起立耐性の低下などの生理的機能の低下のみならず、人とのつながり（活動性）などの社会的機能も低下させる⁸⁾。加えて、低栄養などの生活機能も低下するために、日常生活でサポートが必要な状態である「フレイル⁹⁾」を引き起こすリスクを高めることが知られている。本研究に参加したすべての高齢者は、地域で開催される行事や健康づくり教室などに積極的に参加していることから、生理的機能や社会的機能は高いと思われる。

記録的な猛暑といわれた2013年の夏季（6～8月）において、熱中症による救急搬送者は5万5596人と初めて5万人を超えている。中でも、救急搬送者の約50%が65歳以上の高齢者であった（H25年9月13日総務省消防庁発表¹⁰⁾）ことから、高齢者に対する熱中症予防対策の確立が急務とされている。前述したように、高齢者の体液量の減少は細胞内液量が減少したことによる¹⁻³⁾。熱中症の直接的な原因となる脱水時では細胞外液量（特に血漿量）が多く失われるが、このような緊急時には細胞内液から細胞外液へと細胞膜を介した水の移動が起こり、細胞外液量を補正する。しかしながら、高齢者では細胞内液量が減少しているために十分な補正を行うことができず、結果的に慢性型の脱水を引き起こすことで熱中症による救急搬送者を多発させる原因となる⁵⁾。現在のすべての身体組成の測定技術では、体液量を細胞内液と細胞外液に正確に区分することが困難であるが、本研究において全体液量がやや高い傾向を示した被験者では、下肢の骨格筋量もやや高い傾向を示したことから、細胞内液量も多く含まれていると推察される。他方、本研究の対象者が「みはまスポーツクラブ」および同地域の老人会に参加する高齢女性のみを対象としていることから、本研究の結果がすべての高齢女性に該当するとは言えず限界性がある。しかしながら、本研究の結果から生活習慣や身体活動基準が同じであっても身体組成

や体液変動に差異がみられる傾向にあること、下肢の骨格筋量が体液量や姿勢変化時の体液変動の指標となることが示唆されたことは、BIAを用いた身体組成の計測が、高齢者に多くみられる起立性低血圧や熱中症の予防対策の一助として汎用化できると思われる。

4. 今後の課題

先行研究によると、高齢者であっても骨格筋量、体脂肪量および生殖器（精巣と卵巣）などの解剖学的要因に加えて、呼吸法（腹式呼吸と胸式呼吸）などの機能学的要因に男女差がみられるとの報告がみられる。これらの要因はBIAを用いた体液分布の測定値に影響することから、本研究では対象者を高齢女性に限定した。今後は、高齢男性や若年者についても測定していくとともに、性差や年齢差についての検討も行っていく必要があると考えられる。

謝辞

本研究は、金沢大学・医薬保健研究域医学系の杉本直俊准教授が獲得した、平成27年度科学研究費助成事業「JP15KT0003」に対する助成により行われた。

文献

- 1) 小澤瀨司, 福田康一郎監修: 第8編 体液 (2015). 標準生理学 第8版.
- 2) Hooper L, Bunn DK, Downing A et al. (2016) Which frail older people are dehydrated? The UK DRIE study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 71 (10): 1341-1347.
- 3) Wakefield BJ, Mentis J, Holman JE et al. (2009) Postadmission dehydration: risk factors, indicators, and outcomes. *Rehabil Nurs* 34 (5): 209-216.
- 4) S. H. Cohn SH, Vartsky D, Yasumura A et al. (1980) Compartmental body composition based on total-body nitrogen, potassium, and calcium. *Am J Physiol.* 239 (6): E524-530.
- 5) 谷口英喜 (2017) 栄養管理における体液状態の評価. *日本静脈経腸栄養学会誌* 32 (3): 1126-1130.
- 6) 増尾善久 (2014) 生体電気インピーダンス法を用いた

身体組成の推定. *体育の科学* 64 (3): 177-185.

- 7) 谷本芳美, 渡辺美鈴, 河野 令・他: 日本人筋肉量の加齢による特徴. *日本老年医学会雑誌* 2010, 47 (1): 52-57.
- 8) Rosenberg IH. (1989) Summary comments. *Am J Clin Nutr.* 50: 1231-1233.
- 9) Fried LP, Tangen CM, Walston J, et al. (2001) Cardiovascular Health Study Collaborative Research Group. Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 56: M146-156.
- 10) 総務省消防庁ホームページ. https://www.fdma.go.jp/neuter/topics/fieldList9_2.html.