

15~97歳日本人男女1006名における体肢筋量と筋量分布

山田陽介¹⁾ 木村みさか²⁾ 中村榮太郎¹⁾
 増尾善久³⁾ 小田伸午¹⁾

LIMB MUSCLE MASS DECREASE WITH AGING IN JAPANESE
MEN AND WOMEN AGED 15-97 yr

YOSUKE YAMADA, MISAKA KIMURA, EITARO NAKAMURA,
YOSHIHISA MASUO and SHINGO ODA

Abstract

Although skeletal muscle mass decreases with aging, its decrease rate may differ among parts of the body. There have been few studies examining the differences in the muscle mass decrease rate between proximal and distal parts of the limbs or between the left and right legs in a large population. Bioelectrical impedance (BI) index, calculated as the ratio of the square of segment length to impedance, is linearly correlated with the muscle mass calculated by MRI ($r = 0.902-0.976$, $p < 0.05$, Miyatani et al., 2001) in the limb segments. The purpose of this study was to examine differences in the decrease rate of muscle mass between the proximal and distal parts of the limbs and between the upper and lower limbs in healthy Japanese. The BI index was measured in the bilateral thighs, lower legs, upper arms, and forearms of 1006 healthy Japanese men and women (aged 15-97 years). While the BI index decreased with aging in all examined parts of the body, the decrease rate was larger in the lower limb than in the upper limb, and in the thigh than in the lower leg. The percentage of people who showed a difference of more than 10 % in the BI index between the left and right lower limbs was significantly higher in the elderly than in young subjects. These differences in the decrease rate of muscle mass between limbs may be associated with decreases in physical functions in the elderly.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2007, 56 : 461~472)

key word : limb muscle mass, segmental bioelectrical impedance analysis, aging, laterality, decrease rate

I. 緒 言

高齢者において筋機能を維持することは、寝たきりを防ぎ、自立した健康的な生活を送る上で重要である。先行研究^{1,2)}より、自立した生活を送るためには一定の筋量が必要であることが報告されている。しかしながら、一定の筋量を有していても、左右差が大きかったり、体肢の遠位部と近位部の部位間比が異常であったりすれば、身体能力が制限され、転倒の危険性が高まる可能性があるだろう。そのため、筋量を部位ごとに測定し、加齢に伴うそれぞれ

の部位における筋萎縮の程度、筋量の左右差、および部位間比を調べることは、身体機能を評価する重要な指標になると考える。

これまでの研究では、上肢筋に比べ下肢筋において加齢による萎縮の程度が大きいことが報告されている^{3,4)}。一方、下肢筋においては、階段昇降能力や移動機能は大腰筋や大腿部の筋群との関係が認められ^{5,6)}、大腿部と下腿部では加齢による筋量減少の程度が異なっている可能性がある。筋量減少の程度を遠位筋と近位筋で比較した研究としては、超音波装置を用いて20歳から79歳の日本人男性348名を

¹⁾ 京都大学大学院人間・環境学研究科認知・行動科学講座
〒606-8501 京都市左京区吉田二本松町

²⁾ 京都府立医科大学看護学科
〒602-0857 京都市上京区清和院口寺町東入中御霊町410

³⁾ 早稲田大学総合研究機構エルダリー・ヘルス研究所
〒359-1192 所沢市三ヶ島2-579-15

Graduate School of Human & Environmental Studies, Kyoto University, Kyoto, Japan

School of Nursing, Kyoto Prefectural University of Medicine, Kyoto, Japan

Waseda University Research Institute for Elderly Health, Saitama, Japan

対象にした Miyatani ら(2003)⁷⁾の報告がある。しかし、青少年期(10代)から老年後期(90代)までの幅広い年齢層の男女を対象として、上肢と下肢をそれぞれ遠位部(前腕や下腿)と近位部(上腕や大腿)に分けてその筋量分布の加齢変化を同一手法で測定したデータはまだ見あたらない。

生体内の骨格筋量の測定には、MRI や CT などによる画像法、二重X線エネルギー吸収法(DXA)、水中置換により密度を測定する方法、人体計測法、クレアチニン測定法、生体電気インピーダンス法(bioelectrical impedance analysis : BIA)など、目的に応じて様々な方法が用いられている⁸⁾。その中でも、安価・簡便で持ち運び可能な装置を用いて測定できる BIA はフィールド研究に適しており、実際に体育・スポーツをはじめ、健康づくりや臨床等の様々な現場で用いられている⁹⁾。BIA には、手首一足首間をひとつの測定区間とする全身法と体肢各部位ごとを測定区間とする部位別法がある。全身法では上肢、体幹、下肢という断面積の大きく異なる身体部位を手首一足首間でひとつの直列構造の円柱と仮定して体組成を推定している。この全身法は比較的簡単ではあるが、体肢遠位部の体液変動によって測定結果が大きく影響を受け、運動前後、食事前後、および朝晩などの測定条件の違いによる測定誤差(被験者内誤差)⁹⁾や、筋量分布や体液分布の異なる対象者間においてみられる測定誤差(被験者間誤差)¹⁰⁾が生じることが知られている。

一方、身体各部位を個別に測定する部位別 BIA は測定の煩雑さは増えるが、体肢遠位部の体液変動による測定結果への影響をより少なくできることが知られている¹¹⁾。さらに部位別 BIA では、測定各部位筋量の推定も可能で、その理論的妥当性や実験的妥当性は、競技選手、肥満女性、および子供などの多様な対象者において既に実証されている¹²⁾。部位別 BIA は、測定区間の長さの2乗を区間の電気抵抗値(インピーダンス)で除した値(生体電気インピーダンス(BI)インデックス)が同区間の筋量と比例するという理論に基づいている。この理論は、体肢とこれを構成する骨、脂肪、および筋組織が同心円の円柱として分布しているというモデルに基づいたとき、脂肪の抵抗率は筋組織の約16倍、骨も脂肪同様に抵抗率が高いことを根拠としている。Miyatani ら(2001)は、若年男子において、MRI で

測定した体肢各部位(前腕、上腕、大腿、下腿)の筋体積と当該区間の BI インデックスが相関係数0.9以上の直線関係にあることを明らかにした¹³⁾。この部位別 BIA については、すでにスポーツ選手¹⁴⁾や在宅要介護者¹⁵⁾を対象とした報告もあり、これを用いることで体肢の筋量の状態をより詳細に調べることができる。しかし、部位別 BIA 法を用いた日本人を対象とする部位別筋量の加齢変化に関する報告はわれわれの知る限り見当たらない。

本研究では、15歳から97歳の健常な日本人男女を対象に、部位別 BIA で左右体肢の上腕、前腕、大腿、下腿の BI インデックスを測定し、1) 幅広い年齢層における日本人の体肢筋量の加齢による低下の部位差を明らかにすること、および 2) 加齢に伴う下肢筋量の左右差の変化を明らかにすることを目的とした。

Ⅱ. 方 法

1) 被験者：京都地区周辺に居住する、広範囲な年齢層を対象に実施している体力測定への参加者で、体組成測定に協力が得られた1006名(男性374名、女性632名)を本研究の対象とした。被験者の年齢範囲は15~97歳、body mass index(BMI)の範囲は14.5~34.3 kg/m²であった。なお、骨格筋に影響を及ぼすような医療を受けている者、ペースメーカーや人工関節等の体内埋め込み機器・器具を有している者、また医療従事者より浮腫と診断されている者は研究対象外とした。本研究計画は京都府立医科大学医学倫理審査委員会の承認を受けて行い、被験者に対して研究の概要を説明し、同意を得た上で測定を実施した。被験者の運動習慣を有する者の割合については、最近の国民健康・栄養調査(週2回以上、1回30分以上、1年以上継続している者)の年代別報告値(20%~40%前後)¹⁶⁾とほぼ同程度であった。ただし、我々の調査では、高齢者の場合は、1回の運動時間や継続年数を規定せず、現在の週1回から2回程度の散歩や体操も運動習慣に含めている。体力については、被験者の握力、開眼片足立ち持続時間、長座位体前屈などの年齢階級別平均値を、Kimura et al.(1999)¹⁷⁾や文部科学省の体力・運動能力調査報告書¹⁸⁾と比較すると、これも各年代の平均的な数値であった。したがって、被験者集団の運動習慣や体力は、同年代の平均的な日本人から特に

偏ったものでないを考える。

2) 測定方法：各部位の区間インピーダンス値(Z)は、生体電気インピーダンス方式筋量測定装置(Muscle- α ; 50 kHz, 500 μ A; アートヘブンナイン社製)を用いて測定した(詳細は、山田ら¹⁴⁾, Ishiguro et al.¹⁰⁾を参照)。電極は心電図用ディスプレイ電極(RedDot 2330, 3 M 製)を用いた。測定室温は、被験者が寒さや暑さを覚えないような25℃前後の適正温度空調環境で実施した。測定姿勢は、仰臥位で腋下と股間を30度程度開いて上下肢をまっすぐに伸ばしたりリラックスした状態とした。この姿勢で5分間の安静の後、2種類の誘導法(1回目に遠位誘導法、2回目に近位誘導法)によって測定した。測定に要する時間は、各誘導法とも1分以内であった。電流印加電極は左右中手骨背部および中足骨背部に貼付し、1回目の遠位誘導測定では、電圧検出電極は左右尺骨茎突点と橈骨茎突点とを結ぶ線上および足内果点と外果点を結ぶ線上に貼付した。2回目の近位誘導測定では、電流印加電極は1回目と同じ電極を用い、電圧検出電極は橈骨点および足脛骨部に貼付した。Organら¹¹⁾の誘導法を応用した電流印加電極配置と電圧検出電極配置の組み合わせをコンピュータプログラムでコントロールし、1回目の測定では左右上肢および下肢のZを測定し、2回目の測定では左右上腕および大腿のZを測定した。左右前腕および下腿のZは1回目の測定値から2回目の測定値を減算することで算出した。なお被験者には、前夜に睡眠を十分とり、当日食後2時間以上経ること、起床から2時間以上経ること、運動を避けることを指示した。

3) 分析項目：人体計測用メジャーで測定した各部位長(L)の2乗をZで除することでBIインデックスを算出した。各部位長は、上腕が肩峰から橈骨点まで、前腕が橈骨点から橈骨茎突点、大腿が大転子から足脛骨部、下腿が足脛骨部から外果点の距離を測定した。上腕、前腕、大腿、下腿のBIインデックスは左右の合計値で表した。さらに、大腿および下腿の左右差、大腿と下腿の比率(大腿下腿比)、上腕と前腕の比率(上腕前腕比)を次のように算出した¹⁴⁾。

$$\text{左右差} = (\text{High} - \text{Low}) / \text{High} \times 100 \quad (\%)$$

High: 高値側の BI インデックス

Low: 低値側の BI インデックス

$$\text{大腿下腿比} = \text{T}_{\text{high}} / \text{L}_{\text{lower leg}} \times 100 \quad (\%)$$

T_{high}: 大腿部 BI インデックス

L_{lower leg}: 下腿部 BI インデックス

$$\text{上腕前腕比} = \text{U}_{\text{upper arm}} / \text{F}_{\text{forearm}} \times 100 \quad (\%)$$

U_{upper arm}: 上腕部 BI インデックス

F_{forearm}: 前腕部 BI インデックス

4) 統計処理：全ての統計処理は統計パッケージ(SPSS 12.0 for Windows)を用いて行った。全ての被験者を、男女別に、19歳以下、20~29歳、30~39歳、40~49歳、50~59歳、60~69歳、70~79歳、80~89歳、90歳以上と10歳間隔の年齢群に区分し、測定値の平均値および標準偏差(SD)を算出した。さらに、加齢変化の大きさをわかりやすく図示するために各年齢群の平均値を20代の平均値に対する比で算出し、その値をパーセント(%)で表記した。

身長、体重、BMI、各部位のBIインデックス、BIインデックス比について性×年代の2要因に対する二元配置分散分析(ANOVA)を実施した。有意な交互作用の認められた項目については男女別に一元配置分散分析を実施した。有意な主効果が認められた場合は、Tukeyのb法を用いて年齢群間の比較を行った(Metterら(1999)¹⁹⁾を参照)。Tukeyのb法は各群のサンプルサイズが等しくない場合や等分散が成り立たないときにも適用可能な多重比較法で、有意差のない群の組み合わせを等質サブグループ(subset)として表記する方法である。この方法では、全ての年齢群はひとつもしくは複数の等質サブグループに分類される。例えば、ある等質サブグループが20代と30代から構成され、別の等質サブグループが30代、40代と50代から構成されている場合、30代は20代、40代および50代と有意な差がないのに対して、20代は40代および50代と有意な差があることを意味している。また、各部位のBIインデックスやBIインデックス比が加齢を表す指標となるかを検討するために、年齢と各変数との間を相関分析により調べた。しかし、横断研究の場合、コホートの体格差による影響が結果を歪める可能性がある。そこで、体重、身長、BMIと各変数との間の相関を調べ、さらに年齢と各変数との間を相関を体

重, 身長, BMI を共変量とした偏相関分析によっても検討した. また, 下肢筋群においては体重を支持したり, 身体を移動させたりすることは重要な役割であり, 体重当たりの筋量は身体活動の維持と密接に関連していると思われるため, 体重当たりの筋量を上肢と比較しながら図示した(Figure 3 を参照).

下肢 BI インデックスの左右差が顕著な者の割合が加齢によって変化するかを検討するために, BI インデックスの左右差が10%以上である者と10%未満の者の出現割合を3つの年代グループ(18歳まで, 19~64歳, 65歳以上)ごとに算出した. この場合の年代区分は, 文部科学省による新体力テストの区分, 青年期(18歳まで), 成人期(19~64歳), 老年期(65歳以上)に準拠した. なお, 青年期を25歳までとしても結果は同様であった. 左右差が顕著なもの出現率の年代間での差異を Pearson のカイ 2 乗検定で検討した. 全ての統計の有意水準は 5%未満とした.

Ⅲ. 結 果

身長, 体重, BMI, 各部位の BI インデックス, BI インデックス比について, 性×年代の 2 要因に対する二元配置分散分析(ANOVA)を実施した結果, 全ての変数で性および年代に有意な主効果が

認められた. しかし, BI インデックスの大腿下腿比を除く変数間に有意な交互作用が認められたため(身長, BI インデックス上腕前腕比, $p < 0.05$; 体重, BMI, 大腿, 下腿, 上腕, 前腕の BI インデックス, $p < 0.001$), 男女別に分析を行った.

Table 1 は, 男性の体格と各部位の BI インデックス値の平均値および標準偏差(SD)を年齢グループ別に示したものである. 身長は20歳代, 体重は40歳代で最大値を示した. 身長, 体重ともに60歳代以降において顕著な低下を示した. BI インデックスに関しては, 大腿部は10歳代~40歳代に比べて50歳代から顕著な低下が認められた. 以下同様に, 下腿部は30歳代と80歳代で有意差が認められたものの, 他の組み合わせでは有意な差は観察されなかった. 上腕部は40歳代が最大値で, 10歳~30歳代に比べて60歳以降で顕著な低下を示した. 前腕部については40歳代が最大値で, 10~30歳代に比べて90歳代以降で顕著な低下を示した.

Table 2 は, 女性の体格と各部位の BI インデックス値の平均値および SD を年齢グループ別に示したものである. 身長は10~30歳代に比べて50歳代以降で有意な低下が認められたが, 体重は50歳代で最大値を示し, 10~40歳代に比べて90歳代のみが有意な最小値に達した. BI インデックスに関しては, 大腿部は10歳代が最大値で, 10~20歳代に比べて40

Table 1. Cross-sectional age differences in physical characteristics and BI index of male subjects ($n=374$, mean \pm SD).

age	n	height (cm)	weight (kg)	BMI (kg/m^2)	BI index (cm^2/Ω)			
					thigh	lower leg	upper arm	forearm
15-19	134	170.9 \pm 5.1 ¹	63.1 \pm 5.9 ^{2,3}	21.6 \pm 1.8 ^{2,3}	58.4 \pm 6.4 ¹	20.9 \pm 2.3 ^{1,2}	19.4 \pm 2.3 ^{1,2,3}	8.5 \pm 1.0 ^{3,4}
20-29	43	174.4 \pm 5.1 ¹	68.7 \pm 5.9 ^{1,2}	22.6 \pm 1.5 ^{1,2,3}	57.9 \pm 8.0 ¹	23.1 \pm 2.7 ^{1,2}	20.2 \pm 2.4 ^{1,2}	9.2 \pm 1.2 ^{2,3,4}
30-39	16	170.2 \pm 7.9 ¹	68.7 \pm 11.5 ^{1,2}	23.7 \pm 3.3 ^{1,2}	57.0 \pm 12.6 ¹	23.7 \pm 3.2 ¹	20.9 \pm 4.4 ^{1,2}	10.3 \pm 1.9 ^{1,2}
40-49	10	174.2 \pm 5.1 ¹	75.0 \pm 13.1 ¹	24.6 \pm 3.8 ¹	59.3 \pm 10.8 ¹	23.0 \pm 4.5 ^{1,2}	21.4 \pm 3.5 ¹	11.0 \pm 2.6 ¹
50-59	19	169.8 \pm 3.8 ¹	68.8 \pm 6.1 ^{1,2}	23.8 \pm 1.7 ^{1,2}	48.3 \pm 5.2 ²	21.9 \pm 2.7 ^{1,2}	18.2 \pm 1.7 ^{2,3,4}	9.6 \pm 1.5 ^{1,2,3}
60-69	41	164.2 \pm 6.0 ²	62.8 \pm 8.9 ^{2,3}	23.3 \pm 3.0 ^{1,2}	44.6 \pm 6.3 ^{2,3}	20.9 \pm 2.9 ^{1,2}	17.1 \pm 2.0 ^{3,4}	9.1 \pm 1.4 ^{2,3,4}
70-79	76	162.3 \pm 5.8 ²	58.4 \pm 8.9 ^{3,4}	22.2 \pm 3.0 ^{1,2,3}	43.2 \pm 6.9 ^{2,3}	20.5 \pm 3.3 ^{1,2}	17.2 \pm 2.9 ^{3,4}	8.8 \pm 1.3 ^{2,3,4}
80-89	32	158.8 \pm 5.3 ^{2,3}	53.1 \pm 9.9 ^{4,5}	21.0 \pm 3.7 ^{2,3}	40.2 \pm 6.5 ^{2,3}	19.8 \pm 4.0 ²	15.6 \pm 2.2 ^{4,5}	7.8 \pm 1.5 ^{4,5}
90-97	3	155.5 \pm 4.0 ³	48.2 \pm 1.0 ⁵	19.9 \pm 0.9 ³	37.6 \pm 3.5 ³	20.2 \pm 1.2 ^{1,2}	13.8 \pm 0.3 ⁵	6.9 \pm 0.5 ⁵

By one way ANOVA significant age differences found at $p < .001$ for all variables. Post hoc analysis by Tukey b gives homogeneous groups that do not significantly differ at $p < .05$ for the variable. Each subset is represented with a superscript number.

Table 2. Cross-sectional age differences in physical characteristics and BI index of female subjects (n=632, mean \pm SD).

age	n	height (cm)	weight (kg)	BMI (kg/m ²)	BI index (cm ² /Ω)			
					thigh	lower leg	upper arm	forearm
15-19	112	159.4 \pm 5.4 ¹	53.0 \pm 7.1 ^{1,2}	20.8 \pm 2.5 ^{1,2}	42.1 \pm 6.4 ¹	16.4 \pm 2.1	12.9 \pm 1.9 ¹	6.2 \pm 0.9 ¹
20-29	69	160.1 \pm 5.9 ¹	53.1 \pm 5.8 ^{1,2}	20.7 \pm 2.0 ^{1,2}	40.6 \pm 6.6 ¹	16.3 \pm 2.6	12.3 \pm 2.0 ^{1,2}	6.0 \pm 0.9 ¹
30-39	36	159.2 \pm 5.0 ¹	52.1 \pm 4.8 ^{1,2}	20.6 \pm 1.9 ²	38.2 \pm 5.9 ^{1,2}	17.0 \pm 2.6	11.8 \pm 1.5 ^{1,2,3}	6.1 \pm 0.8 ¹
40-49	26	156.2 \pm 5.4 ^{1,2}	52.3 \pm 5.3 ^{1,2}	21.5 \pm 2.4 ^{1,2}	35.1 \pm 4.1 ^{2,3}	15.6 \pm 1.7	11.5 \pm 1.0 ^{1,2,3}	6.2 \pm 0.5 ¹
50-59	64	154.2 \pm 5.6 ²	54.6 \pm 8.4 ¹	22.9 \pm 3.0 ¹	33.2 \pm 4.1 ^{3,4}	16.3 \pm 2.2	11.2 \pm 1.5 ^{2,3}	6.0 \pm 1.0 ¹
60-69	110	152.6 \pm 4.4 ^{2,3}	52.4 \pm 6.8 ^{1,2}	22.5 \pm 2.9 ^{1,2}	32.2 \pm 4.0 ^{3,4}	15.6 \pm 2.2	11.3 \pm 1.4 ^{1,2,3}	6.2 \pm 0.8 ¹
70-79	152	149.2 \pm 5.6 ^{3,4}	50.3 \pm 7.1 ^{1,2}	22.6 \pm 2.9 ^{1,2}	30.4 \pm 4.5 ^{4,5}	15.5 \pm 2.7	11.4 \pm 2.0 ^{1,2,3}	6.0 \pm 0.9 ¹
80-89	57	146.8 \pm 5.8 ⁴	48.8 \pm 8.0 ²	22.7 \pm 3.6 ^{1,2}	29.9 \pm 4.0 ^{4,5}	16.2 \pm 3.1	11.4 \pm 1.5 ^{1,2,3}	6.0 \pm 1.0 ¹
90-97	6	137.2 \pm 7.7 ⁵	39.5 \pm 6.9 ³	21.3 \pm 5.0 ^{1,2}	26.6 \pm 4.2 ⁵	16.2 \pm 5.8	10.4 \pm 1.8 ³	5.0 \pm 1.0 ²

By one way ANOVA significant age differences found at $p < .05$ for all variables except BI index of lower leg ($p = .06$). Post hoc analysis by Tukey b gives homogeneous groups that do not significantly differ at $p < .05$ for the variable. Each subset is represented with a superscript number.

歳代以降顕著な低下を示した。上腕部は10歳代が最大値で、10歳代に比べて50歳と90歳のみが有意な低下を示した。一方、下腿部は有意な主効果は認められなかった。前腕部は他の年代に比べて90歳代のみが有意な低下を示した。

BI インデックスの男女別の加齢変化を20歳代の平均値を100(%)として各年代の相対値を算出した。Figure 1 は上肢と下肢について、Figure 2 は大腿、

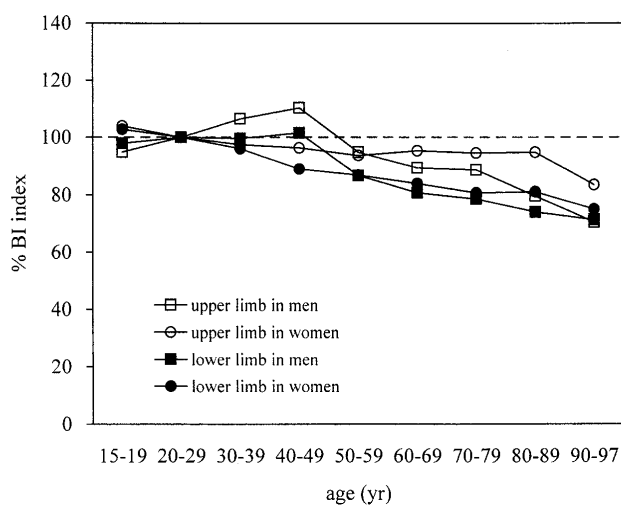


Figure 1. Decrease rates of the BI index in the upper and lower limbs in men and women. The values of the subjects aged 20-29 years are used as reference values (100%). The decrease rate of the BI index was greater in the lower limb than in the upper limb in men and women.

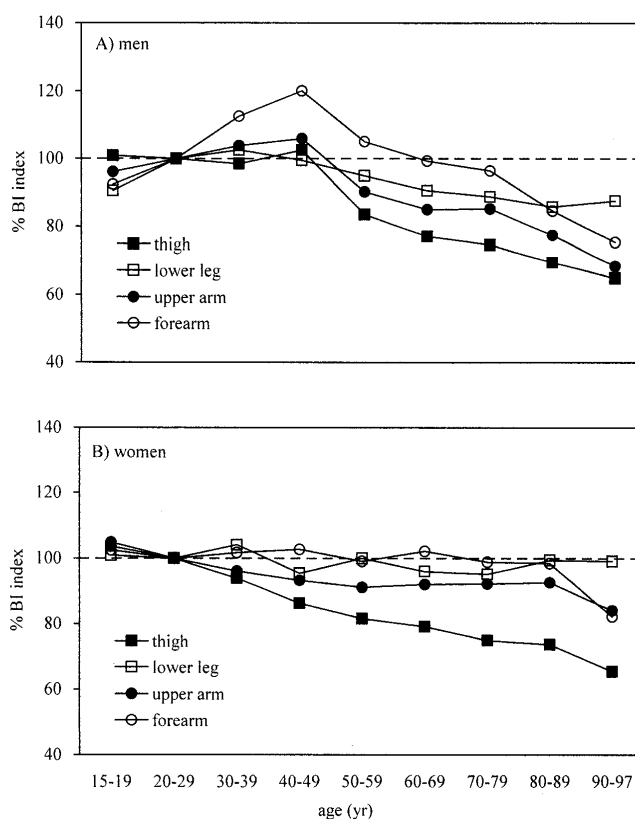


Figure 2. Decrease rates of the BI index in the thigh (■), lower leg (□), upper arm (●) and forearm (○) in men (A) and women (B). The values of the subjects aged 20-29 years are used as references (100%). The decrease rate of the BI index was greater in the proximal (thigh and upper arm) than distal (lower leg and forearm) parts of the limbs in men and women.

Table 3. Simple and partial correlation coefficients between age and BI index.

(n = 1006)	height	weight	BMI	BI index					
				thigh	lower leg	upper arm	forearm	thigh / lower leg	upper arm / forearm
simple correlation									
age	-0.561	-0.280	0.173	-0.614	-0.206	-0.363	-0.161	-0.673	-0.419
height		0.676	-0.086	0.849	0.693	0.794	0.697	0.501	0.352
weight			0.671	0.690	0.717	0.751	0.741	0.245	0.204
BMI				0.070	0.266	0.204	0.284	-0.176	-0.076
partial correlation									
age				-0.336	0.328	0.159	0.427	-0.536	-0.275

Partial correlation coefficients were calculated with height, weight and BMI as the adjusted variables. All correlation coefficients were significant ($p < 0.01$; except the correlation coefficient between BI index ratio of upper arm to forearm and BMI, $p < .05$).

下腿, 上腕, 前腕について示したものである. BI インデックスが低下をはじめめる年齢は男性より女性が早く, その低下の割合は上肢に比べ下肢で大きかった. 男女とも最も低下の割合が大きいのは大腿, 次が上腕であり, 前腕と下腿の加齢変化は殆ど認められなかった.

Table 3 は, 各部位 BI インデックス, 年齢, 体格(身長, 体重, BMI)変数間の単相関および体格変数を共変量とした BI インデックスと年齢との偏相関を示したものである. 単相関をみると, BI インデックスは全ての部位で年齢と有意な負の相関が認められ, 相関係数は大腿($r = -0.614$)が最も高値で, 続いて上腕($r = -0.363$), 下腿($r = -0.206$), 前腕($r = -0.161$)の順であった. これらのBIインデックスは, 特に身長, 体重とは全部位で高い相関($r = 0.690 \sim 0.849$)を示した. そのため, 身長, 体重, BMI を共変量として偏相関分析をしたところ, 大腿のみ負の相関($r = -0.336$)を示し, 他の部位では正の相関を示した. 一方, BI インデックスの大腿下腿比は年齢と単相関でみても($r = -0.673$), 体格を制御した偏相関でみても($r = -0.536$)有意な負の相関を示した. BI インデックスの上腕前腕比は単相関($r = -0.419$), 体格変数で制御した偏相関($r = -0.275$)ともに年齢と負の相関を示したが大腿下腿比に比べて弱い相関であった.

Figure 3 には大腿, 下腿, 上腕, 前腕の BI インデックスの加齢変化を体重当たりの値で示した. 体重当たりの大腿 BI インデックスは男性では10歳代

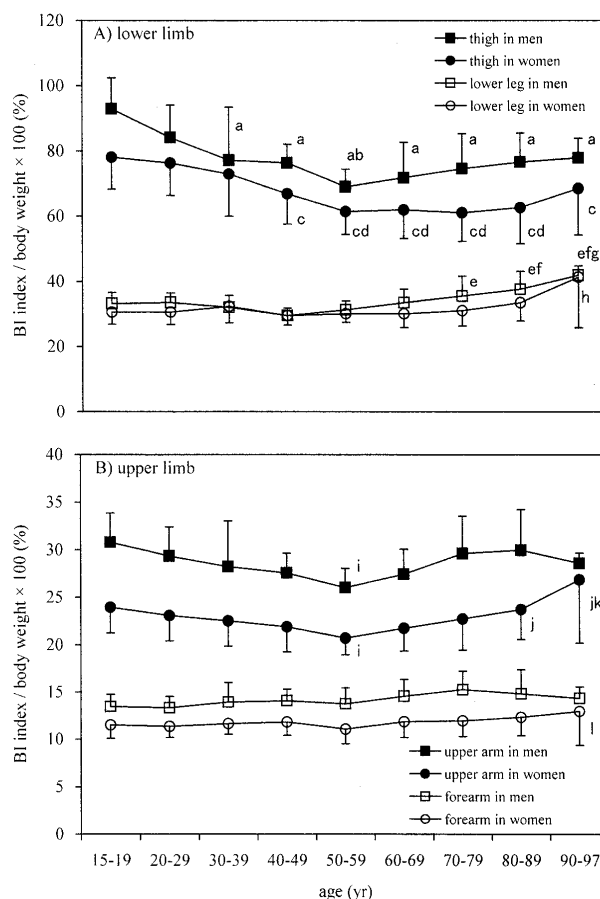


Figure 3. BI index divided by the body weight in each age group in the lower (A) and upper (B) limbs. Significantly different compared with (a) those aged 15-19 years, (b) those aged 20-29 years, (c) those aged 15-29 years, (d) those aged 30-39 years, (e) those aged 40-49 years, (f) those aged 30-59 years, (g) those aged 15-89 years, (h) those aged 15-89 years, (i) those aged 15-19 years, (j) those aged 50-59 years, (k) those aged 15-89 years, (l) those aged 15-29 and 50-59 years ($p < .05$).

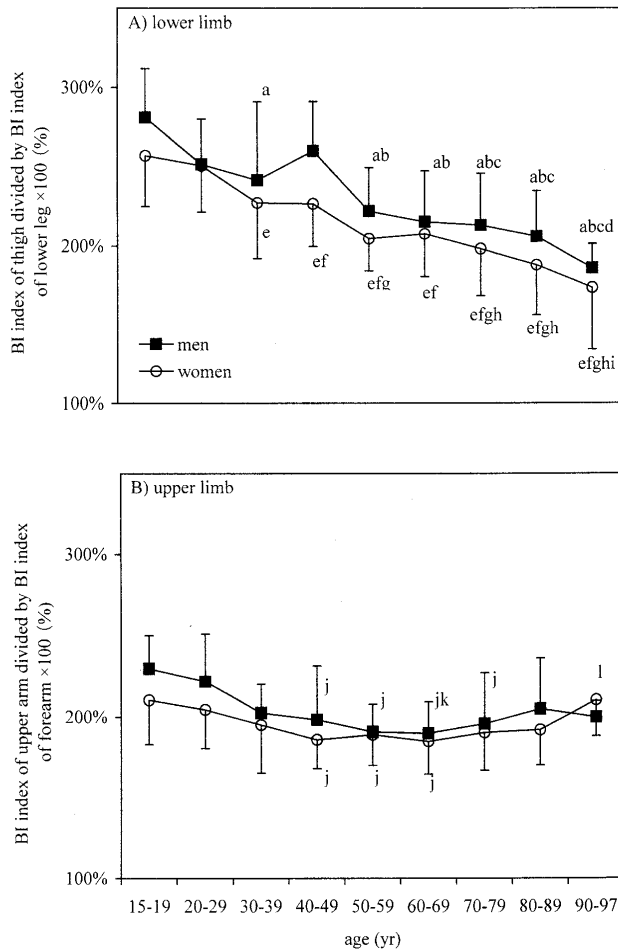


Figure 4. BI index of proximal limbs divided by the BI index of distal limbs in each age group in the lower (A) and upper (B) limbs. Significantly different compared with (a) those aged 15-19 years, (b) those aged 40-49 years, (c) those aged 20-29 years, (d) those aged 30-39 years, (e) those aged 15-19 years, (f) those aged 20-29 years, (g) those aged 30-39 years, (h) those aged 40-49 years, (i) those aged 50-79 years, (j) those aged 15-19 years, (k) those aged 20-29 years, (l) those aged 40-69 years ($p < .05$).

で最大値を示し、30歳以降で10歳代に比べて有意な低値を示した。50歳代で最小値を示し、その後有意な差はないもののやや増加傾向を示した。女性では10歳代で最大値を示し、40歳代以降で10歳代に比べて有意な低値を示したが、90歳代で増加傾向を示した。体重当たりの下腿 BI インデックスは男性では70歳代以降の高齢者において40歳代と比べて有意な増加が認められた。女性では90歳代で他の全ての群に比べて有意な増加が認められた。体重当たりの上腕 BI インデックスは男女ともに50歳代で10歳代に比べて有意な低値を示したが、その後増加傾向を示し、女性においては80歳代以降で50歳代に比べて有意に増加した。体重当たりの前腕 BI インデックス

は男性では有意な主効果は認められなかった。女性では90歳代において10~20歳代および50歳代と比べて有意な増加がみられた。

Figure 4 は、大腿下腿比(大腿/下腿：%表示)および上腕前腕比(上腕/前腕：%表示)と年齢との関係を示したものである。大腿下腿比においては男女とも10歳代で最高値を示し、その後年齢の増加とともに顕著な低下を示した。一方、上腕前腕比は体重あたりの上腕の BI インデックスと同様の変化を示した。

Table 4 には、下肢筋量の左右差を10%未満とそれ以上で区分し、その出現率を年代別に求めた結果を示した。10%以上の左右差出現率は加齢とともに増加し、男性では下腿および大腿、女性では下腿に有意な年代群間差が認められた。

IV. 考 察

本研究の目的は、部位別 BIA を用いて、幅広い年齢層の日本人男女の体肢筋量および筋量分布の加齢変化を横断的に観察・検討することにあつた。その結果、BI インデックスの値は加齢に伴って低下するが、上肢よりも下肢において、また下肢では遠位よりも近位において低下率が大きいことが明らかになった。加齢に伴うこれらの BI インデックスの変化は男性に比べて女性において早期に起こっていた。さらに、下肢に筋量の顕著な左右差を有する人の割合は老年期で大きな値を示していた。

1960年に Allen ら²⁰⁾が、体内総カリウム量から加齢に伴う筋量減少を報告して以来、さまざまな手法を用いて加齢と筋量との関連が報告されている。Young ら^{21,22)}は、超音波法による大腿四頭筋の断面積について、高齢者の筋断面積は若齢者に比べ24~34%減少していることを見出したが、本研究の大腿 BI インデックスの低下率もこれとほぼ同様の結果であった。また、女性の筋量低下が男性より早期に起きているのは、DXA を用いて体肢筋量の加齢変化を横断的に観察した Lynch ら⁴⁾の報告と一致するものであった。一方、Janssen ら²³⁾は、MRI による体肢筋量の加齢変化を横断的に検討し、上肢よりも下肢において筋量低下率が大きいことを報告しているが、本研究はこれとも一致する結果であった。

本研究の結果から、遠位部に比べて近位部の BI

Table 4. The proportion of the people who have large laterality of the muscle mass in the legs.

		% difference between left and right limbs	generation			significance [#]
			1 15-18 yr	2 19-64 yr	3 65-97 yr	
men	(n)		(118)	(114)	(142)	
	thigh	0-10%	94.7	78.7	76.8	p<0.01
		≥10%	5.3	21.3*	23.2**	
	lower leg	0-10%	97.6	89.4	82.4	p<0.01
		≥10%	2.4	10.6**	17.6**	
women	(n)		(88)	(263)	(281)	
	thigh	0-10%	86.0	85.5	84.9	n.s.
		≥10%	14.0	14.5	15.1	
	lower leg	0-10%	92.4	88.5	81.9	p<0.01
		≥10%	7.6	11.5	18.1**	

By χ^2 square test

*(p<.05) and ** (p<.01)

インデックスの低下率が大きく、近位筋の筋萎縮が遠位筋よりも大きいことが明らかになった。下肢の遠位筋量と近位筋量を同時に比較しながら、筋量に対する加齢と性差の影響を検討した研究はこれまでほとんどみられない。超音波画像法で筋厚を測定した Miyatani ら(2003)⁷⁾は、男性においては、体幹および大腿前部の筋厚の加齢変化が上肢や下腿に比べ大きいことを報告している。また、下肢の筋断面積と階段昇降能力との関係を検討した研究⁵⁾によると、両者の関係は遠位筋には認められないが、階段昇りの速度の遅い群に有意な大腰筋断面積の低下と大腿部伸筋群での低下傾向を認めている。一般に、加齢に伴い歩行中の歩幅の減少^{24,25)}、走歩行量の減少¹⁶⁾、および運動などの高強度の身体活動を実施する時間の減少¹⁷⁾が報告されている。このような研究を参考にすると、近位の BI インデックスの低下率が遠位の BI インデックスの低下率に比べて大きい値を示したのは、近位部の筋を使う身体活動が加齢に伴って減少していることと関連している可能性がある。

また、本研究では BI インデックスパラメータの中で年齢と最も高い相関を示したのが大腿下腿比であった。大腿下腿比は加齢や身体活動量低下を評価する有用な指標になることが示唆される。一方、上

肢筋の加齢変化は、上腕前腕比が年齢と弱い相関を示したものの下肢ほど顕著な変化ではなかった。これは Miyatani ら(2003)⁷⁾の男性での結果と同様である。上肢に関しては、スポーツ種目に応じて上腕前腕比が変化することが山田ら(2004)¹⁴⁾によって報告されている。一方で、日常生活における身体活動では、上肢の筋肥大は起こりにくく、かつ生活の中で筋を動かす(活動させる)機会が年齢に伴って変化するかを考えた場合、この加齢変化はおそらく上肢が下肢に比べ少ないと推察される。これらが、上腕前腕比の加齢変化が大腿下腿比より小さいことに関係していると思われる。しかし、加齢に伴って上肢の活動様式に変化が生じているか否かについては、これを検討した報告も見あたらないことより、今後の課題であろう。

筋量は身長、体重、BMI などの体格に大きく依存する従属変数であり、したがって横断的に筋の加齢変化を調査するときには、これらの影響が避けられない。本研究でも身長、体重、BMI を共変量として筋量と年齢との偏相関を調べたところ、近位の筋では相関が弱くなり、遠位の筋では相関が逆転し正の相関を示した。ところが、BI インデックスの大腿下腿比は、体格を考慮した年齢との偏相関係数が部位別より高く ($r = -0.536$, $p < .001$)、年齢と性での交互作用も認められなかったことより、体格や性と独立した老化指標である可能性が強く示唆される。

一方で、体重あたりの筋量は体重支持の困難さや身体活動量低下と関連があることから、加齢によって減少していると考えられるが、本研究においては、体重あたりの BI インデックスの加齢変化は、全部位で50歳代以降の変化量が少なく、むしろ下腿においては増加の傾向にあった。これには次の3つの理由が考えられる。第1は、対象集団の選択効果である。今回の対象は、自主的に体力測定に参加した集団であり、測定に参加できない要介護高齢者や虚弱高齢者は対象集団から欠落している。第2は、老化とともに内臓、体幹筋、骨、水分など、今回の測定部位以外の各種組織量が大きく減少することが考えられる²⁶⁾。第3は、筋組織の電気特性の個人

差(例えば, 筋線維構造の変化¹⁹⁾や後に示す細胞内液と外液の構成比の変化²⁷⁾など)が考えられる. これらの要因を明らかにするためには更なる研究が必要であるが, 本研究の結果は50歳代以降の高齢者においては, 体重あたりの BI インデックスよりも BI インデックスの大腿下腿比が加齢指標としては適していることを示唆している. ただし, 体重当たりの大腿筋量は, 男女ともに15～50歳代で直線的に低下しており, 中年肥満の影響などを考慮して筋量変化を考える上では意義がある指標といえる.

ところで, 老化に伴う筋萎縮の遠位部と近位部の部位差以外にも筋量の左右差は姿勢保持や歩行などの安定性にとって重要な要素と思われる. 高齢者では若年者に比べて転倒する割合が高く, これが寝たきりや死亡の原因となることも多い²⁸⁾. Skelton らの報告では下肢筋パワーの左右差と易転倒性との関係があり, 左右差が10%を超える高齢者では転倒経験が多いと報告されている²⁹⁾. 本研究の結果, 男性の下腿筋および大腿筋, 女性の下腿筋において, 65歳以上の高齢者群で筋量の左右差の大きい者の割合が増大していた. 本研究の被験者は, 自発的に体力測定に参加する意欲のある高齢者で, 日常生活活動に不自由を感じている者はほとんどいない集団である. 同じような健常者を対象とした研究でも, 加齢に伴って下肢の役割の左右差の増大³⁰⁾や立位姿勢時の左右加重の非対称性の増大³¹⁾が報告されている. 一般に, 高齢者では関節炎に罹患しているものが高頻度で認められ, その多くは片側に生じる³²⁾. 筋量の著しい左右差は関節炎をはじめとする各種整形外科的疾患を生ずるリスクファクターである可能性も考えられる. また, 高齢者では歩行中の股関節や膝関節の筋パワーなどに有意な左右差が認められている³³⁾が, 筋力や筋量の左右差と易転倒性とのメカニズムはまだ十分解明されていない. いずれにしても, 高齢者において, 筋量や筋力の左右差を評価し, これらを生じさせている要因を明らかにすることは, 高齢者の介護予防や健康対策のために重要な視点と考えられる.

本研究で用いた 50 kHz 単周波電流は, 他の周波数電流に比べて安定して生体を通ることが知られ, この種の測定装置でもっとも一般的に用いられる周波数である⁹⁾. しかし, 50 kHz 以下の電流はリン脂質二重層でできた細胞膜を透過しにくく, 筋肉容

量としてみると主に細胞外液支配の情報を捉えている⁹⁾. したがって, 細胞外液が筋の総体積に占める割合が増加している場合, BI インデックスは筋量を過大評価する可能性がある. 加齢および身体能力の低下により細胞外液が筋の総体積に占める割合は相対的に増加することが知られ²⁶⁾, 本研究の BI インデックスの加齢に伴う低下率は実際の筋量低下率を過小評価している可能性が考えられる. 50 kHz 以外の周波数を含む多周波 BIA を用いれば, 細胞外液だけでなく細胞内液も測定できる^{34,35)}. したがって, 今後は多周波 BIA を用いた検討を加えていけば, さらに詳細な体筋筋量の加齢変化を明らかにすることができるだろう. また, 得られたデータは他の画像法や生化学法などの筋量推定法をリファレンスとしながら, 今後検討していく必要があるだろう. しかし, 本研究のように近位と遠位の部位間の比率や左右差などのように相対的な表現を用いれば, 加齢や個人的要因に由来する筋組織の電気特性の個人差を相殺し, 加齢に伴う筋萎縮の程度の部位間の違いや左右差の増大などを評価することができると考えられる. 本研究の結果は, 生体電気インピーダンスを部位間の相対的な変化の情報として捉えることで加齢指標としての有用性を示唆するものである.

研究結果の応用にあたっては, データを収集できた被験者の特性を考慮することが重要である. 本研究の被験者は自発的に体力測定に参加した者である. 測定時には生活調査も実施しているが, 特に中高齢者においては, 各年代とも健康や運動に関心を示す者も多かった. 今後さらにデータを蓄積しながら, 健康水準や生活状況(運動習慣, 栄養状態など)の異なる対象での比較を行うことが必要である.

V. 結 論

15～97歳の日本人男女1006名について部位別 BIA で体筋の BI インデックスを調べた結果, 男性より女性で筋萎縮の影響が大きく, また, 大腿部の筋萎縮が起こる年齢が他の部位に比べて早く, その程度も大きかった. 筋萎縮が次に顕著であったのは上腕であり, 前腕や下腿の BI インデックスはあまり変化していなかった. BI インデックスの大腿下腿比は, 性×年代に有意な交互作用がなく加齢に伴って一律に低下し, 体格とも独立して年齢と相関

している老化指標であることが示された。また、下肢においては10%以上の筋量左右差を有する者の割合が年齢とともに増え、高齢者での易転倒性につながる可能性が示唆された。したがって、骨格筋量の特徴を評価する際には総量だけでなく部位間の比や差にも注目する必要がある。今後は、他の筋量推定法と同時比較をすることで骨格筋量の加齢特性が更に明らかになると考えられる。

(受理日 平成19年7月20日)

文 献

- 1) Janssen, I., Baumgartner, R. N., Ross, R., Rosenberg, I. H., Roubenoff, R. Skeletal muscle cutpoints associated with elevated physical disability risk in older men and women. *Am. J. Epidemiol.*(2004), **159**, 413-21.
- 2) Janssen, I. Influence of sarcopenia on the development of physical disability : the Cardiovascular Health Study. *J. Am. Geriatr. Soc.*(2006), **54**, 56-62.
- 3) Gallagher, D., Visser, M., De Meersman, R. E., Sepúlveda, D., Baumgartner, R. N., Pierson, R. N., Harris, T., Heymsfield, S. B. Appendicular skeletal muscle mass : effects of age, gender, and ethnicity. *J. Appl. Physiol.*(1997), **83**, 229-39.
- 4) Lynch, N. A., Metter, E. J., Lindle, R. S., Fozard, J. L., Tobin, J. D., Roy, T. A., Fleg, J. L., Hurley, B. F. Muscle quality. I. Age-associated differences between arm and leg muscle groups. *J. Appl. Physiol.*(1999), **86**, 188-194.
- 5) 金 俊東, 久野譜也, 相馬りか, 増田和実, 足立和隆, 西嶋尚彦, 石津政雄, 岡田守彦, 加齢による下肢筋量の低下が歩行能力に及ぼす影響, *体力科学*, (2000), **49**, 589-596.
Kim, J. D., Kuno, S., Soma, R., Masuda, K., Adachi, K., Nishijima, T., Ishizu, M., Okada, M. Relationship between reduction of hip joint and thigh muscle and walking ability in elderly people. *Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.*(2000), **49**, 589-596(in Japanese).
- 6) Visser, M., Kritchevsky, S. B., Goodpaster, B. H., Newman, A. B., Nevitt, M., Stamm, E., Harris, T. B. Leg muscle mass and composition in relation to lower extremity performance in men and women aged 70 to 79 : the health, aging and body composition study. *J. Am. Geriatr. Soc.*(2002), **50**, 897-904.
- 7) Miyatani, M., Kanehisa, H., Azuma, K., Kuno, S., Fukunaga, T., Site-related differences in muscle loss with aging. "A cross-sectional survey on the muscle thickness in Japanese men aged 20 to 79 years." *Int. J. Sport Health Sci.*(2003), **1**, 34-40.
- 8) Kamel, H. K. Sarcopenia and aging. *Nutr. Rev.*(2003), **61**, 157-167.
- 9) 田中喜代次, 中塘二三生, 大河原一憲, 増尾善久, 生体電気インピーダンス(BI)法の有用性と利用限界, *バイオメカニクス研究*, (2001), **5**, 91-101.
Tanaka, K., Nakadomo, F., Ohkawara, K., Masuo, Y. Usefulness and limits associated with bioelectrical impedance method. *JJBSE*, (2001), **5**, 91-101(in Japanese).
- 10) Ishiguro, N., Kanehisa, H., Miyatani, M., Masuo, Y., Fukunaga, T. A comparison of three bioelectrical impedance analyses for predicting lean body mass in a population with a large difference in muscularity. *Eur. J. Appl. Physiol.*(2005), **94**, 25-35.
- 11) Organ, L. W., Bradhan, G., B., Gore, D. T., Lozier, S. L. Segmental bioelectrical impedance analysis : theory and application of a new technique. *J. Appl. Physiol.*(1994), **77**, 98-112.
- 12) DeLorenzo, A. & Andreoli, A. Segmental bioelectrical impedance analysis. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* (2003), **6**, 551-555.
- 13) Miyatani, M., Kanehisa, H., Masuo, Y., Ito, M., Fukunaga, T. Validity of estimating limb muscle volume by bioelectrical impedance. *J. Appl. Physiol.*(2001), **91**, 386-394.
- 14) 山田陽介, 増尾善久, 中村榮太郎, 小田伸午, 部位別 BIA を用いた競技選手の筋発達バランスの総合評価, *ボディ・コンポジションと代謝*, (2004), **10**, 17-22.
Yamada, Y., Masuo, Y., Nakamura, E., Oda, S. Assessment of Muscle Mass Proportion between Each Limb Segments of Male College Athlete by Using Segmental BIA. *Proceedings of Meeting on Association of Body Composition and Metabolism Research*,(2004), **10**, 17-22(in Japanese).
- 15) Nishiwaki T, Nakamura K, Ueno K, Fujino K, Yamamoto M. Health characteristics of elderly Japanese requiring care at home. *Tohoku J. Exp. Med.*(2005), **205**, 231-9.
- 16) 健康栄養情報研究会編：厚生労働省平成16年国民健康・栄養調査報告。第一出版。2006(in Japanese)。
- 17) Kimura, M. & Adachi, T. Characteristics of Fitness and Exercise Habit in the Elderly. *J. Kyoto Pref. Univ. Med.*(1999), **9**, 1-11.
- 18) 文部科学省：平成17年度体力・運動能力調査報告書。2005(in Japanese)。
- 19) Metter, E. J., Lynch, N., Conwit, R., Lindle, R., Tobin, J., Hurley, B. Muscle quality and age : cross-sectional and longitudinal comparisons. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.*(1999), **54**, B207-18.
- 20) Allen, T. H., Anderson, E. C., Langham, W. H. Total body potassium and gross body composition in relation to age. *J. Gerontol.*(1960), **15**, 348-357.
- 21) Young, A., Stokes, M., Crowe, M. The size and strength of the quadriceps muscles of old and young men. *Clin. Physiol.*(1985), **5**, 145-154.
- 22) Young, A., Stokes, M., Crowe, M. Size and strength of the quadriceps muscles of old and young women. *Eur. J. Clin. Invest.*(1984), **14**, 282-287.
- 23) Janssen, I., Heymsfield, S. B., Wang, Z. M., Ross, R.

- Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *J. Appl. Physiol.* (2000), **89**, 81-8.
- 24) Kaneko, M., Morimoto, Y., Kimura, M., Fuchimoto, K., Fuchimoto, T. A kinematic analysis of walking and physical fitness testing in elderly women. *Can. J. Sport. Sci.* (1991), **16**, 223-228.
- 25) Woo, J., Ho, S. C., Lau, J., Chan, S. G., Yuen, Y. K. Age-associated gait changes in the elderly : pathological or physiological? *Neuroepidemiology.* (1995), **14**, 65-71.
- 26) Hansen, R. D., & Allen, B. J. Habitual physical activity, anabolic hormones, and potassium content of fat-free mass in postmenopausal women. *Am. J. Clin. Nutr.* (2002), **75**, 314-320.
- 27) Ritz, P. Chronic cellular dehydration in the aged patient. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* (2001), **56**, M349-52.
- 28) Bloem, B. R., Steijns, J. A., Smits-Engelsman, B. C. An update on falls. *Curr. Opin. Neurol.* (2003), **16**, 15-26.
- 29) Skelton, D. A., Kennedy, J., Rutherford, O. M. Explosive power and asymmetry in leg muscle function in frequent fallers and non-fallers aged over 65. *Age Ageing.* (2002), **31**, 119-25.
- 30) Bell, J., Gabbard, C. Foot preference changes through adulthood. *Laterality.* (2000), **5**, 63-8.
- 31) Blaszczyk, J. W., Prince, F., Raiche, M., Hebert, R. Effect of ageing and vision on limb load asymmetry during quiet stance. *J. Biomech.* (2000), **33**, 1243-8.
- 32) Trombly, C. A. Arthritis. In Trombly CA, editor : *Occupational therapy for physical dysfunction*, ed 3, Baltimore, (1989), Williams & Wilkins.
- 33) Sadeghi, H., Prince F., Zabjek, K. F., Labelle, H. Simultaneous, bilateral, and three-dimensional gait analysis of elderly people without impairments. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* (2004), **83**, 112-123.
- 34) DeLorezo, A., Andreoli, A., Matthie, J., Withers, P. Predicting body cell mass with bioimpedance by using theoretical methods: a technological review. *J. Appl. Physiol.* (1997), **82**, 1542-1558.
- 35) Bartok, C., Schoeller, D. A. Estimation of segmental muscle volume by bioelectrical impedance spectroscopy. *J. Appl. Physiol.* (2004), **96**, 161-6.