

頸髄損傷者の体水分における細胞内外液分布の特徴

田中利明*・山田陽介**・大畑光司***・矢部京之助*

Intra- and Extra-cellular Water Distribution in the Limbs after Cervical Spinal Cord Injury

Tosiaki TANAKA *, Yosuke YAMADA **,
Koji OHATA *** and Kyonosuke YABE *

Abstract

People with cervical spinal cord injury (SCI) have motor and sensory dysfunction in the upper limbs as well as in the lower limbs (quadriplegia) and high risk of cardiovascular diseases. Muscle atrophy occurred with motor dysfunction induces accelerated catabolism of muscle cell protein and may alter distribution of body fluid. We examined intra-cellular water (ICW), extra-cellular water (ECW), and skeletal muscle mass of eight male with cervical-6th SCI (SCI; age, 34.1 ± 2.4 yr, mean $\pm$ SE) and eight healthy age-, height-, waist circumference-matched male controls (CON). In results, ECW divided by weight was not different between CON ($24.9 \pm 0.8\%$) and SCI ($26.3 \pm 1.2\%$), although ICW was significantly lower in SCI (CON, $39.1 \pm 0.8\%$ vs. SCI, $25.5 \pm 1.9\%$, $p < 0.001$). The muscle mass was highly correlated with ICW ($r = 0.905$, $p < 0.001$), but not with ECW ($r = 0.591$, $p < 0.05$). The ratio of ICW and ECW was significantly lower in SCI than in CON ($p < 0.001$), and significantly lower in leg than in arm in SCI ($p < 0.05$). The results suggest that muscle atrophy induce the decrease of ICW and comparative increase of ECW in the subjects with cervical SCI. This alteration in the distribution of body fluid might be related the high risk of cardiovascular diseases in the people with cervical SCI.

Key words: muscle thickness, body composition, cervical spinal cord injury, Bioelectrical Impedance Analysis (BIA), quadriplegia

I 緒言

脊髄損傷 (spinal cord injury; SCI) では損傷部よ

り下部の神経の支配している筋群が随意運動をすることが出来なくなり, 結果的に廃用性の筋萎縮が生

* 大阪体育大学大学院スポーツ科学研究科 (〒590-0496 大阪府泉南郡熊取町朝代台1-1)

Graduate School of Health and Sport Science, Osaka University of Health, & Sport Sciences

** 京都大学大学院人間・環境学研究科 (〒606-8501 京都府京都市左京区吉田二本松町)

Laboratory of Human Motor Control, Graduate School of Human & Environmental Studies, Kyoto University

*** 京都大学医学研究科理学療法学専攻 (〒606-8507 京都府京都市左京区聖護院川原町53)

Department of Physical Therapy, School of Health Sciences, Faculty of Medicine, Kyoto University

じる⁷⁾。脊髄損傷は受傷部位により頸髄損傷、胸髄損傷、腰髄損傷に分けられるが、近年では医療や救急体制の発達による死亡の減少に加え、高齢者による転倒事故により頸髄損傷者 (cervical SCI) の割合が増加している。日本においては脊髄損傷事故の半数以上が頸髄損傷であるという報告もある²¹⁾。頸髄損傷は工事現場などの高所からの落下や交通事故による頸部骨折によるもの以外にもラグビーやアメリカンフットボールでの接触、体操競技での落下、水泳の飛び込み等、スポーツ競技での受傷によるものも多い²¹⁾。頸髄を損傷すると下肢のみならず上肢にも障害をきたすが、近年の医療、リハビリテーション、人間工学の進展などにより頸髄損傷を有する者の平均余命は延伸している^{10,27)}。しかし平均余命の延伸と同時に、頸髄損傷を有する者ではⅡ型糖尿病や循環器疾患の発症率が高くなっていることが問題視されている^{9,24,31)}。また、頸髄損傷は自律神経に障害をきたすため、激しい運動をしても発汗はほとんど見られず、体温調節も難しい。また、最大心拍数も115拍前後で制限されてしまう¹⁸⁾。そのため、血流量の増加も見られない。

骨格筋線維は多くの蛋白質により構成されている。SCI後の筋萎縮は主に筋の不活動における筋蛋白の減少によるが⁵²⁾、筋の細胞を構成しているものには蛋白質だけでなく、体液も大きく関係している。一般成人の体液の量は、人により個人差はあるが体重の約60%を占める。その体液の3分の2 (体重の約40%) は細胞の中にあり、残り3分の1 (体重の約20%) が細胞外にある³⁰⁾。細胞内の体液を細胞内液 (intra-cellular water, ICW)、細胞外の体液を細胞外液 (extra-cellular water, ECW) という。頸髄損傷を有する者では廃用性の筋萎縮により筋蛋白が減少するとともに、同時に体組成にもなんらかの変化が現われているものと考えられる²⁰⁾。頸髄損傷を有する者の体組成を知ることは頸髄損傷を有する者が安全に運動をすることや、健康を保持した生活をする上で重要な資料となると考える。しかし、頸髄損傷を有する者の体液分布について調べた研究は我々の知る限りほとんどみあたらない。

筋萎縮の度合いを見る方法としては形態測定、超音波画像診断装置 (ultrasound sonography)、二重エネルギーX線吸収測定法 (dual-energy X-ray absorptiometry, DXA)、磁気共鳴画像診断装置 (Magnetic Resonance Imaging, MRI)、コンピュー

タ断層撮影 (Computed Tomography, CT) などがある^{16,25)}。Castro et al.⁷⁾は受傷後6ヶ月の脊髄損傷者を研究し、下肢に筋萎縮が起きていることを報告した。またAbe et al.¹¹⁾は20日間ベッドレストさせた健康な成人男女の筋厚を測定し、下肢筋群で2.1%~4.4%の萎縮が起きると報告している。このように筋活動を制限することにより制限された筋に萎縮が生じる。われわれは、これまで超音波画像装置によって脳性麻痺者での筋厚と痙性との関連性を報告しており²⁰⁾、本研究においても超音波画像装置を用いて筋萎縮の程度を調べることにした。

また、体組成を見る方法としてはDXAや生体電気インピーダンス法 (bioelectrical impedance analysis, BIA) による測定が行われている。Baumgartner et al.⁴⁾は高齢者の体組成を測定し、また、Clasey et al.⁸⁾は若者と高齢者の体組成評価法の有効性について調査している。生体電気インピーダンス法の中でも複数の周波数を用いた多周波法は、全身体水分量を細胞内液 (intra cellular water, ICW) と細胞外液 (extra cellular water, ECW) に分けて測定できるとともに、部位別に用いることで、体肢ごとのICWとECWの割合を調べる事が可能である^{3,12)}。そこでわれわれは多周波数バイオインピーダンス装置 (BIA) を用いECW, ICWを測定し、頸髄損傷者の体組成変化の特徴を明らかにすることとした。

また、脊髄損傷と体組成変化との関係については、障害部位や障害の程度 (完全損傷, 不全) によって大きく異なると考えられ、できるだけ単一の集団について着目する必要がある。しかし、先行研究の多くは、損傷部位の多様な患者を一つのグループにまとめているものも多く見られる^{6,12,18)}。我々は脊髄損傷の中でももっとも生活に支障が生じる頸髄6番完全損傷患者を対象として調べることにした。

Ⅱ 方法

A. 被験者

被験者は頸髄6番完全損傷男性 (以下、SCI群と記す) 8名 (年齢 34.1 ± 2.4 歳, 身長 172.9 ± 2.0 cm, 腹囲 81.4 ± 2.8 cm) である。医師による障害評価は、Frankelの分類のAであり、ザンコリーの分類においてC6B2が6名、C6B1が1名、1名は片側がC6B1でもう片側がC6Aであった。被験者は下肢の感覚が脱出し、下肢の拘縮は無く、車椅子の移乗や自走が可能であり、車椅子ツインバスケットボールやウィ

ルチェアラグビー等のスポーツを週に1回程度定期的に実施している。コントロール群として年齢、身長、腹囲をマッチングさせた健康な一般男性（以下、CON群）8名（年齢 33.3 ± 3.1 、身長 172.0 ± 1.8 cm、腹囲 81.2 ± 2.2 cm）を抽出した。SCI群は受傷後8年以上が経過し、リハビリテーション期間を終了し、障害が安定したものを抽出した。SCI群の麻痺の状態については、理学療法士1名が実験日当日に徒手筋力検査（Manual Muscle Test, MMT）により評価することにより、主治医による病院での診断結果を追試した。その結果、上腕二頭筋については、8名全員が5段階の5（Normal）に該当した。全ての被験者は下肢筋の随意収縮が出来なかった（MMTで5段階の0、Zero）。上腕三頭筋以下の上肢筋は随意収縮が観察されなかった。被検者には各測定前に、研究の目的、測定方法、測定にともなうて生じるかもしれない危険、結果の処理などについて十分説明を実施した。そして、被検者承諾書に各自署名による承諾を得た。

B. 多周波数バイオインピーダンス（BIA）法

被験者はベッド、又は同様のマット上に仰臥位で安静にし、Xitron Hydra 4200（Xitron Technologies, San Diego, USA）を用い、全身、下肢、上肢のECW、ICW、総水分量を測定した^{3, 15, 28, 29}。23-25℃に調節した環境で、肩関節と股関節を約15-30度外転させた体位で測定を行い、被験者が金属に触れていないか、また、脚同士が触れていないかを確認して測定を実施した。ECW、ICW、総水分量は、Kaysen et al.¹⁵の推定式に基づいて算出した。

全身のECWは以下の式で算出される。

$$ECW = K_{ECW} (H^2 \sqrt{W} / R_E)^{2/3}$$

H、身長（cm）；W、体重（kg）； R_E 、Cole-Coleモデルによる細胞外液抵抗値（ Ω ）； K_{ECW} は以下の式で与えられる身体部位間情報。

$$K_{ECW} = 1/1000 (K_B^2 \rho_{ECW}^2)^{1/3}$$

ρ_{ECW} 、生体内における細胞外液の固有抵抗値（男性で $40.5 \Omega \text{ cm}$ ）； K_B 、身長に対する四肢長の割合。全身のICWは以下の式で算出される。

$$1 + (ICW/ECW)^{5/2} = (R_E + R_I) / R_I \times (1 + K_I ICW/ECW)$$

K_I 、生体内における細胞内液の固有抵抗値（男性で $273.9 \Omega \text{ cm}$ ）と細胞外液の固有抵抗値の比。 R_I 、Cole-Coleモデルによる細胞内液抵抗値（ Ω ）。

上肢と下肢のECW、ICWについては、それぞれ別々に下記の式で算出した。

$$ECW = 2/1000 (\rho_E \times L^2 / R_E)$$

$$ICW = 2/1000 (\rho_I \times L^2 / R_I)$$

ρ_E 、体肢における細胞外液の固有抵抗値（ $47 \Omega \text{ cm}$ ）、 ρ_I 、体肢における細胞内液の固有抵抗値（ $273.9 \Omega \text{ cm}$ ）、L、体肢長。

C. 全身筋量の推定

Bモード方式超音波画像診断装置を用いて、先行研究にしたがって身体9部位の筋厚を計測した。計測部位は、前腕部、上腕前部、上腕後部、大腿前部、大腿後部、下腿前部、下腿後部、腹部、肩甲下部であり、東芝メディカルシステム社製SSA320Aに8-MHzリニアプローブを接続して測定した^{20, 23}。本研究と同じ装置で同じ験者が行った筋厚測定の再現性は、健常者を対象とした級内相関（intraclass correlation coefficients; ICC [3, 1]）で0.92-0.98であった²⁰。Sanada et al.²³の推定式を用いて、9箇所の筋厚と身長から全身筋量、上肢筋量（前腕と上腕の合計）、下肢筋量（大腿と下腿の合計）を推定した。

D. 統計解析

各測定値はSCI群およびCON群ごとに平均値と標準誤差（SE）を算出し、統計学的検定を行った。群間比較にはMann-WhitneyのU検定を用いた。また全身筋量、下肢筋量、上肢筋量と細胞内液量、外液量との関係については相関分析を用いて検討した。統計解析にはSPSS12.0を用いた。

III 結果

Table 1に被験者の身体的特徴を示す。年齢、身長、腹囲に関しては2群で有意な差は認められなかった。一方、体重、BMI（Body mass index）、ECW、ICW、総水分量はCON群に比べて、SCI群で有意な低値を示した。

Figure 1には、体重あたりのECWとICWの値を示した。SCI群のECWは $26.3 \pm 1.2\%$ であり、CON群の値（ $24.9 \pm 0.8\%$ ）と有意な差はなかった。一

Table 1 Physical characteristics of control and subjects with cervical spinal cord injury.

		CON group	SCI group
		(n = 8)	(n = 8)
Age	yr	33.3 ± 3.1	34.1 ± 2.4
Height	cm	172.0 ± 1.8	172.9 ± 2.0
Waist circumference	cm	81.2 ± 2.2	81.4 ± 2.8
Weight	kg	67.6 ± 1.8	55.9 ± 3.6*
BMI	kg/m ²	22.9 ± 0.7	18.6 ± 1.0*
ECW	L	16.7 ± 0.4	14.5 ± 0.7*
ICW	L	26.5 ± 1.1	14.1 ± 1.1***
TBW	L	43.2 ± 1.1	28.6 ± 1.6***

Mean ± SE

SCI, subjects with cervical spinal cord injury; BMI, body mass index; ECW, extra-cellular water; ICW, intra-cellular water; TBW, total body water

*p < .05, ***p < .001, significantly lower than controls

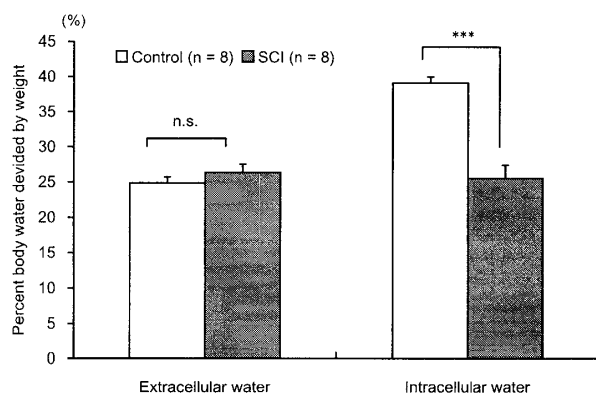


Figure 1 Mean and SE of the ratio of extra-cellular water (ECW) to body weight and the ratio of intra-cellular water (ICW) to body weight in the control subjects (CON group) and cervical spinal cord injury subjects (SCI group). ***p < 0.001.

方, ICW については, SCI 群 (26.3 ± 1.2%) は, CON 群 (39.1 ± 0.8%) と比べて有意に低値を示した。

Figure 2 は, ICW と ECW の比について, 上肢と下肢に分けて表したものである。CON 群では上肢と下肢で ICW と ECW との比で有意な差は認められなかった。一方, SCI 群では上肢に比べて下肢において, ECW に対する ICW の割合が有意に低い値を示した。

Figure 3 は, ICW, ECW と超音波で推定した全身

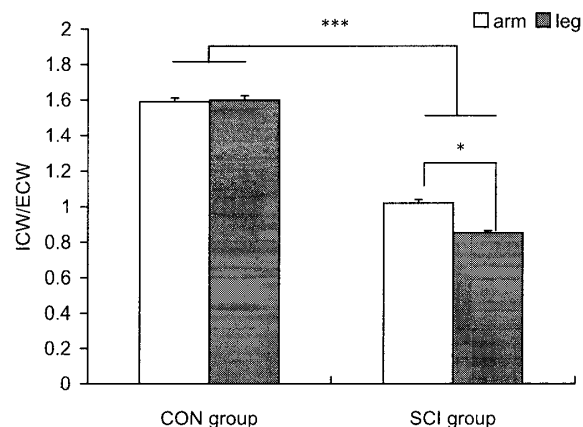


Figure 2 Mean and SE of the ratio of intra-cellular water (ICW) to extra-cellular water (ECW) in the arm and leg in the control subjects (CON group) and cervical spinal cord injury subjects (SCI group). *p < 0.05 and ***p < 0.001.

筋量との関係を示したものである。全身筋量と ICW との間には有意な高い相関 ($r = 0.905$, $p < 0.001$) が見られた。一方で, 全身筋量と ECW との間には, 有意な相関関係は認められたが, その相関係数は全身筋量と ICW との関係に比べて低い値で, 中程度の相関 ($r = 0.591$, $p < 0.05$) しか認められなかった。

同様に, 下肢筋量と ICW との間には有意な高い相関 ($r = 0.877$, $p < 0.001$), ECW とは有意だが低い相関 ($r = 0.594$, $p < 0.05$) が認められた。また, 上肢筋量と ICW との間には有意な高い相関 ($r = 0.793$, $p < 0.001$) が認められたが, ECW との相関 ($r = 0.453$, $p = 0.078$) は有意でなかった。下肢筋量, 上肢筋量との ICW, ECW との関連は全身筋量と同じ傾向といえる。

IV 考察

脊髄損傷者の体組成を健常者と比べる際には, 体重や BMI でのマッチングは適切でなく, 腹囲でのマッチングが望ましいとされている⁹⁾。従って, 本研究では, 性, 年齢, 身長, 腹囲をマッチングさせた健常者と比較して, 頸髄損傷者の全身および体肢の体水分分布の特徴を調べた。結果, 全身筋量の減少に伴って, 全身の ICW は低下するが, ECW の低下はあまり見られず, 総水分量に対する ICW の割合が, 頸髄損傷者では小さいことが明らかになった。さらに, 頸髄損傷者では ICW の占める割合は,

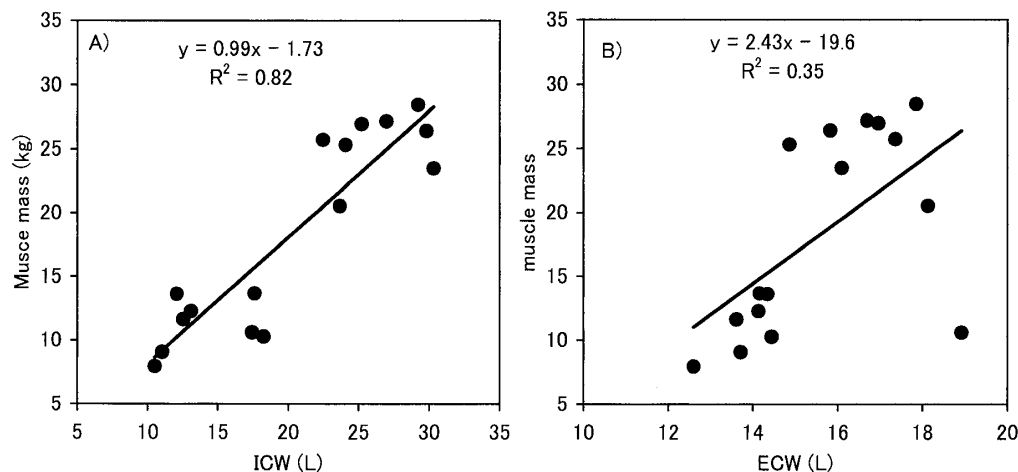


Figure 3 Relationships between intra-cellular water (ICW) and muscle mass (A), and between extra-cellular water (ECW) and muscle mass (B).

上肢よりも下肢でより低値を示した。このことは頸髄損傷後では、廃用性の筋萎縮が生じると同時に、体水分の細胞内外液分布の状態が変わることを表している。

筋萎縮は一般的に蛋白質の減少を捉えることが多い^{11,14)}。筋萎縮を測定する方法は超音波画像診断装置や、CT、MRI 等がある。しかし、それらの方法は筋のボリュームを測定している。頸髄損傷者の筋萎縮は蛋白質の減少だけでなく ICW 量も関係していると考えられる。Hirata らは高血圧患者に心房性ナトリウム利尿ペプチドを投与した結果、血漿蛋白と細胞内液の減少を報告している¹³⁾。しかし、頸髄損傷者の筋萎縮と体水分量との関係を報告したものは見あたらない。

今回 ICW、ECW を測定することは、筋萎縮を蛋白質の減少面だけで見のではなく、体水分量の変化と筋萎縮との関係で見ている。よって、この ICW、ECW の測定は重要であると考ええる。

BIA は生体に微弱な電流を流し、体組織の抵抗率の違いにより生体内の水分量や体脂肪量を測定することが出来る。BIA は非侵襲的で測定者間の誤差も少なく、装置も安価で持ち運びに便利であり、臨床応用でも使用されている。Malavolti et al.¹⁷⁾は BIA を用いた測定で、DXA と比較し、高い相関を報告している。また、Sartorio et al.²⁰⁾は高度肥満者を多周波 BIA により測定し、除脂肪体重だけでなく ECW、ICW も正確に測定できることを示している。本研究で用いた装置は、健常成人だけでなく、ベッドレストや中高年スポーツ選手、人工透析患者においても

用いられており、ICW や ECW を精度よく測定でき、再現性も高いことが報告されている^{3,15,28,29)}。特に、生体での細胞内外液分布の身体部位間による違いを評価可能な方法として改めて近年注目されはじめている³⁾。

成人健常者の体液の量は体重の約60%を占めると言われている。その内、体液の約3分の2が ICW であり、約3分の1が ECW である。今回の測定の結果、CON 群の総体液量は体重の64.0%であり、ICW 量は39.1%、ECW 量が24.9%となり、「体液の3分の2（体重の約40%）が ICW、3分の1（体重の約20%）が ECW である」という値に近い結果となった。一般健康人はホメオスタシスの働きにより体液量と体液分布は絶えず一定に保たれていると考えられる。一方、SCI 群の総体液量は体重の51.8%と成人健常者に比べて低い値を示し、さらに ICW と ECW の割合はほぼ1対1の値を示した。これは筋量の減少に伴い ICW が減少したものと考えられる。しかし、ICW が減少した原因はそれだけではない。筋交感神経等の影響や、下肢筋群が随意運動不全のため、筋のポンプ作用による静脈還流を促進することが出来ず、血液量の再分配が出来ないことも原因であると考ええる。このことから、頸髄損傷者では体水分分布を正常に維持するホメオスタシスの働きになんらかの障害が生じている可能性が示唆される。

C6レベル以下の頸髄損傷を有する患者では、上腕の一部の筋は神経支配があり、ツインバスケットボールなどの運動が可能である¹⁹⁾。一般的に健常者においては、上肢の運動開始とともに下肢の筋内圧

や血管内圧を高め、血液量の再分配が起こる。しかし、頸髄損傷者では、下肢筋のポンプ作用が静脈還流を促進させることができず、このような血液量の再分配がうまく調節できないと推察される。このような状態の頸髄損傷者が運動を行う場合、急性の問題が引き起こされる可能性がある。

特に上肢よりも下肢で ECW の占める割合が高い値を示したのは、上肢は多少の動作が可能であるのにたいして下肢は随意収縮が不可能であることと、長時間座位姿勢で過ごすことが多いことが主な理由と考えられる。健常者においては、歩行運動による下肢筋のポンプ作用が静脈還流を促進させ、下肢の ECW の貯留を防いでいるが、頸髄損傷者ではそれができないため、下肢に ECW が慢性的に貯留している、いわば浮腫状態¹²⁾にあると考えられる。それは組織液の水分回収系が十分に機能しなかったことと、血漿の膠質浸透圧が低下し、そのことにより組織液、血漿量の両者が増加した結果ではないかと考えられる。

頸髄損傷者で循環器疾患の発症率が高いのは、動脈硬化要因や、身体不活動によるところが大きい。しかし ECW の増加による慢性的な浮腫により、絶えず血管壁を圧迫し血流量を減少させている。このことは、血栓が発生するリスクを高め、循環器疾患発生とも密接に関連してくる。そうであるならば、下肢の血流の促進が頸髄損傷者における循環器疾患発症予防にとって有効な手段である可能性がある。これについては、今後の研究が必要とされるだろう。

引用文献

- 1) Abe T, Kawakami Y, Suzuki Y, Gunji A, Fukunaga T (1997) Effects of 20 days bed rest on muscle morphology. *J Gravit Physiol* 4: S10-S14.
- 2) Arrowsmith FE, Allen JR, Gaskin KJ, Gruca MA, Clarke SL, Briody JN, Howman-Giles RB, Somerville H, O'Loughliom EV (2006) Reduced body Protein in Children with spastic quadriplegic cerebral palsy. *Am J Clin Nutr* 83: 613-618.
- 3) Bartok C, Schoeller DA (2004) Estimation of segmental muscle volume by bioelectrical impedance spectroscopy. *J Appl Physiol* 96: 161-166.
- 4) Baumgartner RN, Heymsfield SB, Lichtman SL, Wang J, Pierson RN. (1991) Body composition in elderly people: effect of criterion estimates on predictive equations. *Am J Clin Nutr* 53: 1345-1353.
- 5) Buchholz AC, Bugaresti JM (2005) A review of body mass index and waist circumference as markers of obesity and coronary heart disease risk in persons with chronic spinal cord injury. *Spinal Cord* 43: 513-8.
- 6) Buchholz AC, McGillivray CF, Pencharz PB (2003) Differences in resting metabolic rate between paraplegic and able-bodied subjects are explained by differences in body composition. *Am J Clin Nutr* 77: 371-378.
- 7) Castro MJ, Apple DF Jr, Staron RS, Campos GE, Dudley GA (1999) Influence of complete spinal cord injury on skeletal muscle within 6 mo of injury. *J Appl Physiol* 86: 350-8.
- 8) Clasey JL, Kanaley JA, Wideman L, Heymsfield SB, Teates CD, Gutgesell ME, Thorner MO, Hartman ML & Weltman A (1999) Validity of methods of body composition assessment in young and older men and women. *J. Appl. Physiol.* 86: 1728-1738.
- 9) Demirel S, Demirel G, Tükek T, Erk O, Yilmaz H (2001) Risk factors for coronary heart disease in patients with spinal cord injury in Turkey. *Spinal Cord* 39: 134-138.
- 10) DeVivo MJ, Krause JS, Lammertse DP (1999) Recent trends in mortality and causes of death among persons with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 80: 1411-1419.
- 11) Francesca Gabanella, Matthew E.R. Butchbach, Luciano Saieva, Claudia Carissimi, Arthur H.M. Burghes. Livio Pellizzoni (2007) Ribonucleoprotein assembly defects correlate with spinal muscular atrophy severity and preferentially affect a subset of spliceosomal snRNPs. *PloS ONE*. 26; 2(9): e921.
- 12) Hayes M, Chustek M, Wang Z, Gallagher D, Heshka S, Spungen A, Bauman W, Heymsfield SB (2002) DXA: Potential for creating a metabolic map of organ-tissue resting energy expenditure components. *Obesity Research* 10: 969-977.
- 13) Hirata Y, Ishii M, Fukui K, et al (1990) The extrarenal effects of atrial natriuretic peptide on body fluid distribution. *Am J Hypertens* 3(2): 140-7.
- 14) Hironori Nakamura, Hideki Fukushima, et al (2006) A longitudinal study on the nutritional state of elderly women at a nursing home in Ja-

- pan. *Inter Med* 45(20): 1113-20. Epub 2006 Nov 15.
- 15) Kaysen GA, Zhu F, Sarkar S, Heymsfield SB, Wong J, Kaitwatcharachai C, Kuhlmann MK, Levin NW (2005) Estimation of total-body and limb muscle mass in hemodialysis patients by using multifrequency bioimpedance spectroscopy. *Am J Clin Nutr* 82: 988-995.
 - 16) LaForgia J, Ploeg GE, Withers RT, Gunn SM, Brooks AG, Chatterton BE (2004) Impact of indexing resting metabolic rate against fat-free mass determined by different body composition models. *Eur J Clin Nutr* 58: 1132-1141.
 - 17) Malavolti M, Mussi C, Poli M, Fantuzzi AL, Salvio G, Battistini N, Bedogni G (2003) Cross-calibration of eight-polar bioelectrical impedance analysis versus dual-energy X-ray absorptiometry for the assessment of total and appendicular body composition in healthy subjects aged 21-82 years. *Ann Hum Biol* 30: 380-391.
 - 18) Monroe MB, Tataranni PA, Pratley R, Manore MM, Skinner JS, Ravussin E (1998) Lower daily energy expenditure as measured by a respiratory chamber in subjects with spinal cord injury compared with control subjects. *Am J Clin Nutr* 68: 1223-1227.
 - 19) Nunome H, Doyo W, Sakurai S, Ikegami Y, Yabe K (2002) A kinematic study of the upper-limb motion of wheelchair basketball shooting in tetraplegic adults. *J Rehabil Res Dev* 39: 63-71.
 - 20) Ohata K, Tsuboyama T, Ichihashi N, Minami S (2006) Measurement of muscle thickness as quantitative muscle evaluation for adults with severe cerebral palsy. *Physical Therapy* 86: 1231-1239.
 - 21) Rosai Rehabilitation Engineering Center (RREC) (2006) Epidemiological survey of spinal cord injury from 1996 to 2004.
<http://www.lwc-eirec.go.jp/sekison2006.htm>
 - 22) Sartorio A, Malavolti M, Agosti F, Marinone PG, Caiti O, Battistini N, Bedogni G (2005) Body water distribution in severe obesity and its assessment from eight-polar bioelectrical impedance analysis. *Eur J Clin Nutr* 59: 155-160.
 - 23) Sanada K, Kearns CF, Midorikawa T, Abe T (2006) Prediction and validation of total and regional skeletal muscle mass by ultrasound in Japanese adults. *Eur J Appl Physiol* 96: 24-31.
 - 24) Schmid A, Halle M, Stützle C, König D, Baumstark MW, Storch MJ, Schmidt-Trucksäss A, Lehmann M, Berg A, Keul J (2000) Lipoproteins and free plasma catecholamines in spinal cord injured men with different injury levels. *Clin Physiol* 20: 304-310.
 - 25) Shih R, Wang Z, Heo M, Wang W, Heymsfield SB, (2000) Lower limb skeletal muscle mass: development of dual-energy X-ray absorptiometry prediction model. *J Appl Physiol* 89: 1380-1386.
 - 26) Spungen AM, Adkins RH, Stewart CA, Wang J, Pierson RN, Waters RL, Bauman WA (2003) Factors influencing body composition in persons with spinal cord injury: a cross-sectional study. *J Appl Physiol* 95: 2398-2407.
 - 27) Strauss DJ, Devivo MJ, Paculdo DR, Shavelle RM (2006) Trends in life expectancy after spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 87: 1079-1085.
 - 28) Turner AA, Lozano-Nieto A, Bouffard M (2006) Generalizability of extracellular-to-intracellular fluid ratio using bio-impedance spectroscopy. *Physiol Meas* 27: 385-397.
 - 29) Tuuri G, Keenan MJ, West KM, Delany JP, Lofton JM (2005) Body water indices as markers of aging in male masters swimmers. *J Sports Sci Med* 4: 406-414.
 - 30) Wang j, Pierson RN (1976) Disparate hydration of adipose and lean tissue require a new model for body water distribution in man. *J Nutr* 106: 1687-93.
 - 31) Yekutieli M, Brooks ME, Ohry A, Yarom J, Carel R (1989) The prevalence of hypertension, ischemic heart disease and diabetes in traumatic spinal cord injured patients and amputees. *Paraplegia* 27: 58-62.
- (平成19年9月13日受付, 平成19年12月25日訂正,
平成20年1月23日受理)