

高齢者の自立した日常生活動作に必要な体肢の筋の  
形態・機能水準に関する研究

佐藤 広徳      三浦    朗  
佐藤 陽彦      福場 良之

MORPHOLOGICAL AND FUNCTIONAL ASPECTS OF THE EXTREME MUSCLES  
NECESSARY TO SELF-SUPPORT DAILY ACTIVITY IN ELDERLY PEOPLE :  
DEVELOPMENT OF THE PRACTICAL SYSTEM FOR CROSS-SECTIONAL  
IMAGING OF THE EXTREMITIES AND ITS APPLICATION

Hironori Sato, Akira Miura, Haruhiko Sato,  
and Yoshiyuki Fukuba

別 刷

(財)明治生命厚生事業団第12回健康医科学研究助成論文集

1997年3月

## 高齢者の自立した日常生活動作に必要な体肢の筋の 形態・機能水準に関する研究

佐藤 広徳\* 三浦 朗\*\*  
佐藤 陽彦\*\*\* 福場 良之\*\*

MORPHOLOGICAL AND FUNCTIONAL ASPECTS OF THE EXTREME MUSCLES  
NECESSARY TO SELF-SUPPORT DAILY ACTIVITY IN ELDERLY PEOPLE :  
DEVELOPMENT OF THE PRACTICAL SYSTEM FOR CROSS-SECTIONAL  
IMAGING OF THE EXTREMITIES AND ITS APPLICATION

Hironori Sato, Akira Miura, Haruhiko Sato,  
and Yoshiyuki Fukuba

### SUMMARY

To investigate the structural and functional lower limits of the extreme muscles in the elderly people, which is necessary to perform their own daily activity by themselves, we firstly tried to develop the practical visualized system for cross-sectional image of extremities using ultrasound technique for the field survey. The system consisted of the ultrasound equipment with a 3.5 MHz transducer, power-mac PC and our developed water tank in which the leg or arm was able to be inserted and fixed. We designed the water tank to turn the beam attachment around the target extremity. The fragmentary image were taken into the PC, and the whole cross-sectional image was reconstructed by our developed software. Our system has, at least, one advantage, that is, to be able to get image easily in outside of the laboratory for practical purposes.

As one of the applications to our developed system, we secondly performed the small but intense field survey to evaluate the morphological and functional aspects of the thigh in middle and elderly women. Twenty-three women in the regular exercise training group (E group : mean age=59.4 yrs) and sixteen women in the non-training group (non-E group : mean age=51.8 yrs) volunteered to this survey. The cross-sectional area of the thigh was imaged visually by our developed system, and the maximal isometric strength of the flexors and extensors of the knee were also measured simultaneously by the load-cell measurement system for the muscle strength. As a result, our developed system was able to distinguish clearly each of subcutaneous fat, muscle and bone components of the thigh cross-sectional area in almost subjects. Compared to non-E group, whole cross-sectional area in E

\*広島工業大学 Hiroshima Institute of Technology, Hiroshima, Japan.  
\*\*広島女子大学 Hiroshima Women's University, Hiroshima, Japan.  
\*\*\*九州芸術工科大学 Kyushu Institute of Design, Fukuoka, Japan.

group was slightly large. When the difference of age between both group was adjusted, the E group showed the larger muscle area and the greater maximal isometric strength of the flexors and extensors of the knee significantly than those in non-E group.

Key words: Elderly people, Ultrasound technique, Cross-sectional area, Maximal isometric strength.

### 緒 言

高齢化社会を迎えた今日の日本において、高齢者が健やかな老後を送ることのできる環境づくりは社会的要請の一つである。Quality of Life(QOL)の観点からは、高齢者が介助を受けず自立した日常生活動作(ADL)ができるために必要な最低限の体力要素とその水準、さらにそれらを維持するための具体的方策を示すことが、我々に課せられた課題としてあげられる。そのためには、高齢者のADLを支える、生体側の構造や機能に対する基本的な理解が重要であると考えられる。

高齢者の筋の構造や機能に関する研究では、筋線維の萎縮などを明らかにしたミクロなレベルでの Aging 研究は多くあるが<sup>2,6,8,9)</sup>、ADL との関連性を考える上で重要となる、筋を筋腹全体でとらえるようなマクロなレベルの研究は比較的少ない<sup>11)</sup>。言い換えれば、高齢者が自立して行動するために必要な体力を実証的に示した調査・研究は現在までにほとんどみられない。その理由として、集団を対象するこういった調査・研究を行おうとしても、以前では生体の筋の構造に関する情報を得ることが容易でなかった点があげられる。しかし、現在では、超音波法や CT 法、MRI 法などによって生体の断面情報を得ることが可能となってきた。これらの方法を比較・考察してみると、超音波法は、安価で可搬性があり、しかも身体に対して無害である。一方、CT 法や MRI 法は、超音波法に比して鮮明な画像情報はえられるものの、非常に高価で、大規模な施設にしか設置することができず、また、CT 法は X 線照射にともなう身体への悪影響をぬぐいきれない。

我々が最終的な目的として掲げている高齢者の自立した ADL を支えるために必要な筋の形態と機

能の把握のためには、各種の集団を対象としたフィールド調査が不可欠である。その意味からは、人体に対して無害であり、しかもコンパクトで持ち運びが簡単な超音波法のみがこの目的に対して適用可能と思われる。しかし、市販されている超音波診断装置は臨床診断や皮下脂肪の測定などを目的として作製されているため、体肢の一部を撮影することは可能であるが、CT や MRI などのような完全な横断面画像を撮影することはできず、超音波法を用いた研究においては、一般にその厚さのみが計測されてきた<sup>1)</sup>。

そこで本研究では、実験室のみならず、フィールド調査においても体肢の横断面画像が容易に測定できるシステムの開発を試みることにした。さらに、そのシステムを用いて中高年齢女性の大腿部の横断面積と筋力を同時に測定し、中高年齢女性の大腿部の筋における構造と機能についても検討を加えることにした。

### 1. 体肢横断面測定システムの開発

#### A. 方法

##### 1. 体肢横断面測定システムの概要

図1は、体肢横断面測定システムの全体構成の概略を示したものである。本研究で使用した超音波診断装置は、SM-206超音波皮脂厚計(誠鋼社製)で、超音波の発現周波数は3.5MHzであった。本機種も一般に市販されている超音波診断装置と同様に、皮下脂肪の測定などを目的として作製されているので、1回のスキャンでは縦9cm、横7cmの大きさの画像しか撮影することができず、全体像をとらえることができない。そこで、我々はプローブを円形走査できる水槽を自作し、任意の角度(30°もしくは45°)毎の体肢の超音波断層画像を撮影し、えられた各画像は、ビデオレコーダー

に録画、その後、パソコンを用いた画像処理を行うことで、体肢の横断面を再現することを試みた。

##### 2. 円形走査式水槽について

図2は、プローブの円形走査が可能な水槽の構造について示している。この水槽は2層からなる筒状のもので、内側(上部)の筒はアクリル製、外側(下部)の筒は塩化ビニール製である。アクリルで透明な内側の筒は、自由に上下動し、任意の高さでステンレスのボルトとナットによって簡単に固定できるようになっている。さらに固定された高さで自由に回転することができ、同一平面上でプローブの円形走査が可能となっている。

##### 3. 体肢再現用ソフトウェアについて

体肢の各断片画像から全体画像を再構成する画像処理には、パソコンとして Power Macintosh 8500、ソフトウェアとして Videoshop 3.0 (Avid社製)、Photoshop 3.0J (Adobe社製)および NIH Image (フリーソフトウェア)を用いた。画像処理手順は、1) ハードウェアから断片画像を取り込む処理、2) 取り込んだ断片画像に対し階調/色調補正や強調処理を施す前処理、3) 断片画像を全体画像に戻す再現処理の3段階に分けて行った。

#### B. 結果および考察

図3は、我々が開発した体肢横断面測定システムを用いて撮影した大腿部の横断面画像である。図3-1は、22歳男性、図3-2は、53歳女性、図3-3は、50歳女性のものである。どの画像からも皮下脂肪層、筋層および骨の各組織をはっきり識別することができ、フィールド調査等においても体肢の横断面情報を容易に入手することが可能となった。

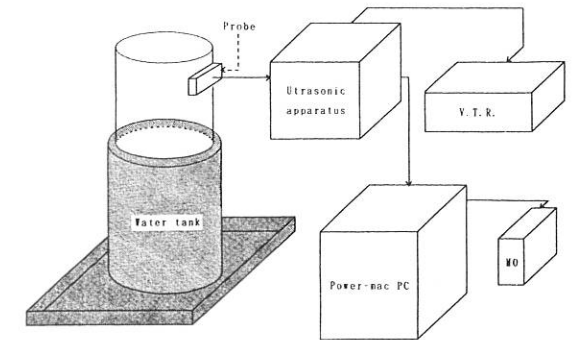


図1. 体肢横断面測定システムの概略図  
Fig.1. Diagram of the system.

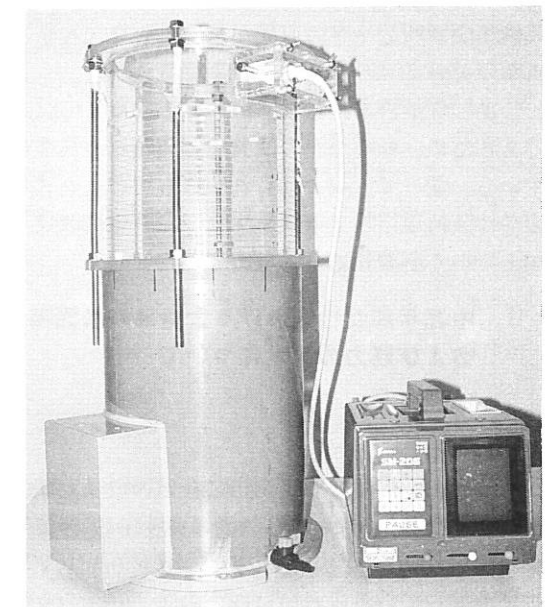


図2. 超音波診断装置と円形走査式水槽  
Fig.2. Ultrasound apparatus and water tank.

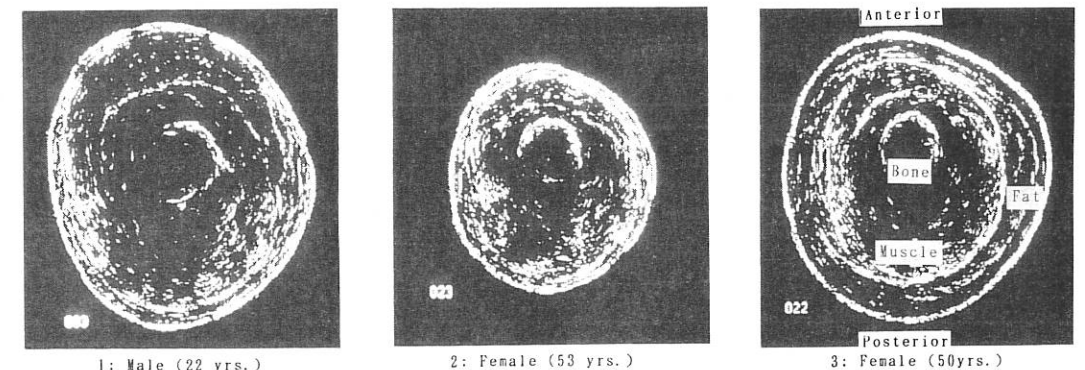


図3. 体肢横断面画像測定システムにより撮影された大腿部横断面画像  
Fig.3. Cross-sectional image of thigh (right side) using the ultrasound technique.

体脂肪率は、それぞれの被検者で、18% (図3-1)、24% (図3-2)、30% (図3-3)であったが、大腿部の皮下脂肪の沈着の違いもよく観察できた。大腿横断面の形状は、20歳前後の被検者 (図3-1) では前後径の長い楕円に近い形状をしていたが、中高年齢者でしかも大腿部に脂肪の沈着の多い被検者では図3-3のように円に近い形状を有していた。

今回、我々が開発した方法を用いることによって、これまでCTやMRIなどの設備を有する特定の施設でしか得ることのできなかった生体の体肢横断面画像情報が簡便にフィールドで測定することができるようになる。また、この方法は集団を対象とした研究に適しているため、より多くの体肢横断面情報データの収集が可能となり、今までにないデータベースの構築が期待される。

しかしながら本計測システムは、初めての試みであるため、いくつかの改良点と問題点が残されている。従って、我々はこれからも円形走査式水槽や体肢再現用ソフトウェアなどにさらに改良を加えていく必要があると考えている。

## II. 中高年齢女性における大腿部横断面積および筋力の測定について

### A. 方法

#### 1. 被検者

被検者は、広島県廿日市市に在住の日頃定期的な運動を行っていない40~62歳の女性16名 (非運動群: non-E group) と、週に2回、トレーニング教室に参加している広島市に在住の50~66歳の女性23名 (運動群: E group) であった。

#### 2. 生体計測

被検者の身体的特徴の概要を把握することと、大腿部横断面画像の撮影箇所の検索のために最初に生体計測を行った。生体計測の項目は、身長、下肢長、大腿長および大腿最大囲であった。また、生体計測に加え、体重と体脂肪率の測定も行った。

#### 3. 大腿部横断面積の測定

我々が開発した前述の体肢横断面測定システムを用いて大腿部の横断面を撮影した。横断面の撮影部位は、大転子から脛骨点までの距離の50%の位置で大腿部中央とした。横断面の撮影は、膝関節を完全に伸展させた状態で右脚のみについて行った。

図3に示したような、本測定システムによって得られた大腿部の横断面画像より、大腿部を構成している皮下脂肪と筋の各組織を判別し、皮下脂肪、筋および大腿部全体の横断面積をパソコンを用いて計測した。

#### 4. 等尺性最大筋力の測定

膝関節伸展および屈曲における等尺性最大筋力は、多用途筋力測定装置 (ティアック社製) を用いて測定した。測定時の被検者の姿勢は椅座位とし、体幹と大腿をベルトで固定した。膝関節の測定角度は90°とした (完全伸展位: 180°)。測定は、各被検者とも右脚についてのみ2回ずつ行い、大きな方の値を最大筋力とした。筋力測定には、非運動群の被検者は全員参加したが、運動群は23名中14名 (表にはE group-1と記載した) が参加した。

#### 5. 統計処理

各グループの各測定項目の平均と標準偏差を算出した。グループ間の平均値の差の検定は、Student's t-testにより行い、5%水準で有意とした。

### B. 結果および考察

表1は、被検者の概要を示したものである。年齢は、運動群 (E group) が平均59.4歳で、非運動群 (non-E group) の平均51.8歳よりも有意に高かった ( $p < 0.001$ )。身長は非運動群が152.0cm、運動群が150.6cmで両グループ間に有意な差はなかった。その他の生体計測項目も両グループともほぼ同様の値を示しており、有意な差はみられなかった。体脂肪率は非運動群が27.4%、運動群が30.2%で運動群の方がやや高い値であったが有意な差ではなかった。

表2は、大腿部の皮下脂肪、筋および大腿全体の横断面積を示したものである。大腿部全体の横断面積は非運動群が186.7cm<sup>2</sup>、運動群が201.6cm<sup>2</sup>で有意な差はなかったが、運動群の方がやや高い値を示した。皮下脂肪横断面積は、非運動群が64.5cm<sup>2</sup>、運動群が75.0cm<sup>2</sup>で運動群の方がやや高い値を示した。大腿部の皮下脂肪横断面積、体脂肪率共に運動群がやや高いという傾向がみられたので、両者の関係を検討した。被検者全員での相関係数を求めると0.532で、有意な関係がみられた。しかし、大腿部皮下脂肪横断面積の説明力自体は、体脂肪率の変動のおおよそ30%未満 ( $r^2 = 0.283$ ) でした。

かない。身体全体での脂肪、すなわち体脂肪は同じであっても、脂肪のつく部位による分布パターンに違いがみられることがある。元来、成人女性は殿部や大腿部に脂肪が多く分布する下半身沈着型が多くみられるというが、50歳前後になると閉経を迎え、腹部に脂肪がつく、上半身沈着型に移行していくという報告がある<sup>12)</sup>。本研究の被検者は、平均年齢が50歳代であるので既に閉経を迎えた者がおり、上半身沈着型の脂肪分布に移行している者もいると考えられることから、大腿部の皮下脂肪横断面積と体脂肪率との相関がそれほど高くなかったのではないかと推察される。筋横断面

積は、非運動群が110.4cm<sup>2</sup>、運動群が114.3cm<sup>2</sup>でほぼ同一の値を示した。筋横断面積は、非運動群と運動群との間に差はみられなかったが、両グループ間には平均で約8歳の年齢差が存在していた。そこで、年齢を補正するために両グループより50歳代の被検者のみを抽出して比較検討を行った。

表3は、両グループ50歳代の被検者における大腿部の皮下脂肪、筋および全体の横断面積を示したものである。全体の横断面積は、運動群が206.4cm<sup>2</sup>、非運動群が177.4cm<sup>2</sup>で運動群が非運動群より大きかったが、有意な差ではなかった。筋横断面積は、運動群が120.9cm<sup>2</sup>、非運動群が102.7cm<sup>2</sup>で運動群

表1. 被検者の概要  
Table 1. Characteristics of subjects.

	Non E group (n=16)		E group (n=23)		E group-1 (n=14)	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
Age (years)	51.8	6.9	59.4*	5.2	59.8*	5.7
Height (cm)	152.0	4.1	150.6	3.8	150.3	3.5
Lower-extremity length (cm)	75.5	3.6	74.2	2.9	74.0	3.3
Thigh length (cm)	38.1	2.5	36.5	4.9	36.9	2.3
Thigh girth (cm)	48.5	2.3	48.7	3.4	48.4	4.0
Weight (kg)	51.5	4.4	52.0	6.7	51.9	6.7
%Fat (%)	27.4	3.8	30.2	4.5	30.5	4.7

\* < 0.001 non-E group: Non-exercise training group. E group: Exercise training group. E group-1: This group consists of the subjects who measured isometric strength simultaneously among the subjects in E group.

表2. 大腿部の皮下脂肪、筋および全体の横断面積  
Table 2. Cross-sectional areas of thigh components measured by ultrasound method.

	Non-E group (n=16)		E group (n=23)		E group-1 (n=14)	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
Fat area (cm <sup>2</sup> )	64.5	12.9	75.0	24.1	72.9	27.8
Muscle area (cm <sup>2</sup> )	110.4	16.5	114.3	12.7	116.7	11.7
Whole area (cm <sup>2</sup> )	186.7	21.3	201.6	31.6	202.0	35.8

non E group: Non-exercise training group. E group: Exercise training group. E group-1: This group consists of the subjects who measured isometric strength simultaneously among the subjects in E group.

が非運動群より有意に大きかった ( $p < 0.01$ )。加齢によって筋組織が萎縮し、筋量が減少していくことは周知の事実である。Larsson et al.<sup>8)</sup>は、加齢に伴い収縮速度の速い速筋線維が選択的に萎縮が進み、筋量が減少していくと報告している。福永と金久<sup>9)</sup>によると女性の大腿部の筋横断面積は、18歳前後まで年齢とともに増加し続ける傾向にあるが、20歳以降は50歳前後までほとんど変化が見られず一定の値を示すという。また、安部と福永<sup>1)</sup>の筋組織厚の加齢変化の研究によると大腿前面の筋群は20歳代から80歳代へと著しい低下が認められ、それに対し、大腿後面では20歳代の値と比べ統計的に有意な変化がみられたのは50歳代以降であったと報告されている。本研究の被検者は、先行研究で筋量の減少が生じてくるといわれている年齢 (50歳代) とほぼ一致しており、既に筋量の減少が進行していることが予想されるが、今回は若年齢者の調査を行っていないので、その点について検討することはできなかった。また、運動群と非運動群の両グループでの50歳代の被検者における大腿部の筋横断面積を比較すると、運動群の方が非運動群より有意に大きいという結果が得られた。運動群の被検者は、週に2回程度ではあるが、トレーニング教室に通い、定期的な筋力トレーニングを行っている集団であり、中には5年以上も継続している被検者もいた。そのトレーニング・プログラムの中には大腿の伸展や屈曲を伴うトレーニングも含まれており、トレーニングによる効果が大腿部の筋横断面積の差としてあらわれたものと考えられる。

表3. 50歳代の被検者の大腿部の皮下脂肪、筋および全体の横断面積

Table 3. Cross-sectional areas of thigh components measured ultrasound method in 5th decades subjects.

	non-E group(n=9)		E group(n=8)	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.
Fat area (cm <sup>2</sup> )	63.2	15.9	72.9	34.0
Muscle area (cm <sup>2</sup> )	102.7	6.4	120.9*	11.5
Whole area (cm <sup>2</sup> )	177.4	17.8	206.4	40.5

\* $< 0.01$  non-E group: Non-exercise training group. E group: Exercise training group.

表4は、膝関節伸展・屈曲における等尺性最大筋力を示したものである。伸展力は、非運動群が30.9kg、運動群が38.1kgで、運動群の方が非運動群より有意に大きかった ( $p < 0.05$ )。しかし、屈曲力は、非運動群が14.6kg、運動群が15.9kgで、両グループ間に有意な差はみられなかった。最大筋力は筋横断面積に比例するので、最大筋力も筋横断面積と同様に加齢とともに低下し、特に50~60歳代に急速に進行するといわれている<sup>3,7)</sup>。上肢と下肢の筋力低下の割合を比較すると下肢の方が上肢より低下率が大きかったと Funato et al.<sup>5)</sup>は報告している。

しかし、加齢とともに筋力は低下するが、Isometric training を行うことで筋力低下の進行を遅らせたり、筋力の向上を示すいくつかの先行研究が認められている。例えば、Welsh and Rutherford<sup>13)</sup>は、55~85歳の男女に6か月間、大腿四頭筋の Isometric training を実施したところ、トレーニングを行わなかったグループよりも筋力が増大したと報告している。本研究の膝関節伸展力の結果も運動群が非運動群より有意に高い値を示した。運動群の被検者は筋横断面積のところで述べたようにトレーニング教室で大腿部のトレーニングを定期的に行っていることから、Welsh and Rutherford の報告と同じように運動群の方が非運動群より大きい値を示すという結果が得られたものと思われる。高齢者の脚の筋機能の低下は、活動範囲を狭め、転倒などの危険性を高める。そこに骨密度の低下が加わると骨折を引き起こし、ひいては寝たきり状態をもたらす、自立した生活を営むことが不可能になってしまう。そのようなことを未然に防ぐ方法として、ある程度の負荷での筋力トレーニングを取り入れることが望ましいと考えられる。

表4. 膝関節伸展および屈曲における等尺性最大筋力  
Table 4. Maximal isometric strength of knee extensor and flexor.

	non-E group(n=16)		E group(n=14)	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.
Extensor (kg)	30.9	5.8	38.1*	9.4
Flexor (kg)	14.6	3.7	15.9	3.0

\* $< 0.05$  non-E group: Non-exercise training group. E group: Exercise training group.

総 括

本研究では、実験室のみならず、フィールド調査においても体肢の横断面画像が容易に測定できるシステム開発の試みと、そのシステムを用いて、日常定期的に運動を行っていない40~62歳の女性16名と、週に2回、トレーニング教室に参加している50~66歳の女性23名を対象に、大腿部の横断面画像と筋力を同時に測定し、中高年齢女性の大腿部の各組織の横断面積と筋力について検討した。

結果は以下の通りである。

1. 我々が開発した体肢横断面測定システムを用いて撮影した大腿部の横断面画像は、ほぼすべての画像において皮下脂肪層、筋層および骨の各組織をはっきり識別することができた。すなわち、フィールド調査においても体肢の横断面情報を容易に入手することが可能となった。
2. 我々が調査を行った中高年齢女性において大腿部全体の横断面積は非運動群が186.7cm<sup>2</sup>、運動群が201.6cm<sup>2</sup>で有意な差はなかったが、運動群の方がやや高い値を示した。
3. 皮下脂肪横断面積は、非運動群が64.5cm<sup>2</sup>、運動群が75.0cm<sup>2</sup>で運動群の方がやや高い値を示した。
4. 筋横断面積は、非運動群が110.4cm<sup>2</sup>、運動群が114.3cm<sup>2</sup>でほぼ同一の値を示した。筋横断面積は、非運動群と運動群との間に差はみられなかったが、両グループ間には平均で約8歳の年齢差が存在したので、年齢を補正するために両グループより50歳代の被検者のみを抽出して比較検討を行ったところ、運動群が120.9cm<sup>2</sup>、非運動群が102.7cm<sup>2</sup>で運動群の方が非運動群より有意に大きかった ( $p < 0.01$ )。
5. 膝関節伸展・屈曲における等尺性最大筋力は、伸展力が、非運動群30.9kg、運動群38.1kgで、運動群の方が非運動群より有意に大きかった ( $p < 0.05$ )。しかし、屈曲力は、非運動群が14.6kg、運動群が15.9kgで、両グループ間に有意な差はみられなかった。

稿を終えるにあたり、本研究に対する助成をいただいた明治生命厚生事業団に心より感謝申し上げます。

また、辻 敏夫助教授と福田 修氏(広島大学工学部)より多大なご助言、ご援助をいただいたことに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 安部 孝, 福永哲夫 (1995): 日本人の体脂肪と筋肉分布, 杏林書院, 東京.
- 2) ANIANSSON A., GRIMBY G., HEDBERG M. AND KROTKIEWSKI M. (1981): Muscle morphology, enzyme activity and muscle strength in elderly men and women. Clin. Physiol., **1**, 73-86.
- 3) CALMELS P., VICO L., ALEXANDRE C. AND MINAIRE P. (1995): Cross-sectional study of muscle strength and bone mineral density in a population of 106 women between the ages of 44 and 87 years : relationship with age and menopause. Eur. J. Appl. Physiol., **70**, 180-186.
- 4) 福永哲夫, 金久博昭 (1990): 日本人の体肢組成, 朝倉書店, 東京.
- 5) FUNATO K., MATSUO A., ABE T. AND FUKUNAGA T. (1994): Changes in muscle thickness and mechanical power in Japanese middle and old aged women. Med.Sci.Sports Exerc., **26**, supplement : S137.
- 6) GRIMBY G. AND SALTIN B. (1983): The ageing muscle. Clin. Physiol., **3**, 209-218.
- 7) 小林寛道, 近藤孝晴 (1985): 高齢者の健康と体力, 朝倉書店, 東京.
- 8) LARSSON L., SJODIN B. AND KARLSSON J. (1978): Histochemical and biochemical changes in human skeletal muscle with age in sedentary males, age 22-65 years. Acta Physiol. Scand., **103**, 31-39.
- 9) LARSSON L. (1978): Morphological and functional characteristics of the aging skeletal muscle in man. A cross-sectional study. Acta Physiol. Scand., Suppl., **457**.
- 10) LEXELL J. AND TAYLLOR C.C. (1991): Variability in muscle fiber areas in whole human quadriceps muscle: effects of increasing age. J. Anat., **174**, 239-249.
- 11) RICE C.L., CUNNINGHAM D.A., PATERSON D.

( 66 )

H. AND LEFCOE M.S. (1989): Arm and leg composition determined by computed tomography in young and elderly men. *Clin. Physiol.*, **9**, 207-220.

12) 下方浩史 (1993): 体脂肪分布. 杏林書院, 東京.

13) WELSH L. AND RUTHERFORD O.M. (1996): Effects of isometric strength training on quadriceps muscle properties in over 55 year olds. *Eur. J. Physiol.*, **72**, 219-223.