九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

A cross-sectional study of the size and strength of the extremities muscles in Japanese adults using ultrasonography

佐藤, 広徳

https://doi.org/10.11501/3148616

出版情報：九州芸術工科大学, 1998, 博士（工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

氏名・本籍(国籍) 佐藤広徳（宮崎県)
学位の種類 博士(工学)
学位記番号 甲第 27 号
学位授与の日付 平成 11 年 3 月 18 日
学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題 目超音波法を用いた日本人成人における体肢筋群横断面積と筋力に関する研究
審査委員会 幹事 教授 佐藤陽彦
委員 教授 栃原 裕
委員 教授 山本和彦

論文内容の要旨

本研究は、フィールド調査においても体肢の完全な横断面画像が撮影できるシステムを開発し、日本人成人男女における大腿部および上腕部の横断面画像の撮影と膝関節・肘関節の伸展・屈曲における等尺性最大筋力測定のフィールド調査を行い、加齢に伴う大腿部および上腕部筋群横断面積と筋力の変化について検討した。調査は平成 8 年 8 月から平成 10 年 8 月の間に、広島県、福岡県および宮崎県の 3 県のボランティア集団 7 団体を対象に行い、実施場所はそれぞれの団体が居住する地域の集会所などであった。被検者の総数は男女 508 名で、年齢は 20〜69 歳であった。得られた結果は以下の通りである。

Ⅰ．超音波体肢横断面画像撮影システムの開発

1)市販の超音波診断装置を用いて体肢の完全な横断面画像の撮影が可能な超音波体肢横断面画像撮影システムの開発を行った。

2)本研究で開発した超音波体肢横断面画像撮影システムによって、これまで CT 法や MRI 法などのように高価で、しかも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が、比較的安価で簡便に入手することが可能となった。

3)同一被検者の同じ部位を 1 日以上の間隔を置いて 2 度撮影し、皮下脂肪、筋および骨の各組織横断面積測定の再現性について検討を行ったところ、1 回目と 2 回目の各組織における横断面積の相関係数は、皮下脂肪が r=0.966、筋が r=0.985、骨が r=0.957 と非常に高く、1 回目と 2 回目の計測値はほぼ一致した。

4)本システムと MRI で体肢の同じ部位を同一日に撮影し、各組織横断面積について検討したところ、本システムより得られた各組織横断面積は平均で約 7%大きかったが、大腿部全横断面積に対する各組織横断面積の比率において、本システムと MRI の差は、皮下脂肪で 0.97%、筋で 1.00%、骨で 0.08%と両者はほぼ一致していた。

5)本撮影装置は、軽量でコンパクトに作製されているため、可搬性があり、測定も短時間で行うことができるので、本研究のようにフィールドで展開されるような集団を対象とした調査的な研究には有効であり、また、より広範囲な集団における体肢横断面情報の収集

が可能となり、今後、体肢組成のデータの蓄積とそれに基づく現代の日本人の基準値といった新たなデータベースの構築が期待される。

Ⅱ.日本人成人における大腿部筋群横断面積と筋力の年齢変化について

1)膝関節伸筋群横断面積は、男女とも 60 歳代で減少する傾向を示した。膝関節屈筋群横断面積は、男性は 60 歳代までは加齢による変化はほとんどみられなかったが、女性は 20 歳代が最も小さく、その他の年齢グループはほぼ同じだった。

2)膝関節最大伸展力において男性は、60 歳代で低下がみられたが、女性は年齢による変化はみられなかった。また、膝関節最大屈曲力において男性は 40 歳代から緩やかに減少する傾向がみられた。

3)男性の大腿部伸筋群・屈筋群における筋単位横断面積当たりの筋力は 40 歳代頃から低下が始まることが示された。女性は伸筋群において 20 歳代、30 歳代がやや小さく 40 歳代から 60 歳代までは変化しなかったが、屈筋群においては加齢とともに低下する傾向がみられた。

Ⅲ.日本人成人における上腕部筋群横断面積と筋力の年齢変化について

1)肘関節屈筋群および伸筋群横断面積において、女性は 20 歳代が 40 歳代、50 歳代がより有意に小さかったが、男性は年齢グループ間に有意差ほみられなかった。

2)肘関節最大屈曲力では、男性において 60 歳代が 30 歳代より有意に小さく、女性においては 20 歳代が 50 歳代より有意に小さかった。肘関節最大伸展力は、女性では 20 歳代が 50 歳代より有意に小さかったが、男性ではどの年齢グループ間にも有意な差はみられなかった。

3)上腕部屈筋群における筋単位横断面積当たりの筋力は、男性では 50 歳代および 60 歳代が、30 歳代より有意に小さかったが、女性では各年齢グループ間に有意な差はみられなかった。上腕部伸筋群における筋単位横断面積当たりの筋力は、男女とも年齢グループ間に有意な差はみられなかった。

4)60 歳代までは男女とも肘関節屈筋群、肘関節伸筋群、膝関節伸筋群および膝関節屈筋群のすべての筋群が同じ程度の筋単位横断面積当たりの筋力を有する可能性が示された。

本研究の結果より、本邦の男性においてはすでに 50 歳代頃から筋の構造・機能の低下が始まる可能性が示されたが、女性は 60 歳代まで大きな変化は認められなかった。今後は、高齢者のみならず、高齢者予備軍である中年者(特に男性)にも筋機能低下防止のための運動処方を示すことが必要であり、そのことが将来にわたって高齢者の自立した日常生活獲得に貢献するものと考えている。

また、今日の本邦においては急激な高齢化のために中高年者の体力レベルの把握が特に重要視されてきたが、これからは 10 歳代、20 歳代の若者の体力レベルにも十分な注意を払う必要があるものと思われる。

論文審査の結果の要旨

高齢社会を迎えた今日の日本において、高齢者が自立した日常生活動作を行える生活環

境を設計するために、高齢者の運動機能に関する基本的な資料が必要とされている。従来、高齢者の筋力については研究されているが、日本人について筋力とその筋力を発揮させる筋の横断面積の関係について、加齢の影響を含めて検討した研究は見当たらない。その原因として、筋の横断面情報を得る簡便な方法がないことが挙げられる。

本論文は、まずフィールド調査においても体肢の横断面画像が撮影できるシステムを開発し、次に、それを用いて日本人成人男女の大腿部及び上腕部の横断面画像を撮影するとともに、膝関節・肘関節の伸展・屈曲における等尺性最大筋力を測定し、加齢に伴う大腿部及び上腕部筋群横断面積と筋力の変化について検討したものである。

開発した体肢横断面画像撮影システムは、人体に無害であること、比較的安価で軽量コンパクトであることから市販の超音波診断装置を利用し、超音波診断装置、円筒形の水槽及び画像処理・合成のためのパソコンから構成されている。このシステムで得られた横断面積の再現性は、同一被検者の同じ部位を 1 日以上の間隔をおいて 2 度撮影した画像を比較することで確認し、このシステムの妥当性については、本システムと MRI で体肢の同じ部位を同一日に撮影した画像を比較することで確認している。この可搬性のある超音波体肢横断面画像撮影システムの開発により、体肢横断面画像が比較的簡便に入手できるようになった。

開発した超音波体肢横断面画像撮影システムを用いて、20〜69 歳の日本人男女 508 名について大腿部及び上腕部の横断面画像を撮影するとともに、膝関節と肘関節の最大伸展力及び最大屈曲力を測定し、今回測定した年齢の範囲で、加齢に伴う筋群横断面積と筋力の変化について以下のような結果を得ている。

膝関節伸筋群横断面積は男女とも 60 歳代で減少する傾向を示した。膝関節屈筋群、肘関節屈筋群及び肘関節伸筋群の横断面積については、男性では加齢による変化が見られず、女性では 20 歳代が他の年齢群より小さかった。膝関節の伸展力と屈曲力に関しては、男性では 60 歳代で低下がみられたが、女性では年齢による変化は観察されなかった。肘関節屈曲力は男性では 60 歳代が、女性では 20 歳代が小さかった。肘関節伸展力は女性では 20 歳代が小さく、男性では年齢群間で差は無かった。

以上をまとめると、日本人の男性においては 50 歳代から筋の構造・機能の低下が観察されるのに対し、女性では 60 歳代までは加齢に伴う著名な変化は認められなかった。注目すべきは、20 歳代の特に女性で筋横断面積、筋力とも小さいことで、今後若者の体力レベルにも充分注意を払う必要があることが訴えられている。また、60 歳代までの男女において肘関節屈筋群、肘関節伸筋群、膝関節伸筋群及び膝関節屈筋群のすべての筋群が、同じ程度の筋単位横断面積当たりの筋力を発揮する可能性が示唆された。

本論文は、簡便な超音波体肢横断面画像撮影システムを開発し、それを用いて、従来知られていなかった日本人の運動機能の加齢に伴う変化を明らかにしており、極めて貴重な研究である。よって、本論文が博士(工学)の学位を得るに値するものであることを、本委員会は認めた。

最終試験の結果の要旨

最終試験を兼ねた公開発表会が、人間工学及び関連分野の研究者の出席のもとに、開催された。著者の発表に対して、筋群横断面積の求め方の詳細、筋力測定に対するアーム長の影響、加齢に伴う筋繊維組成の変化、運動機能の性差に及ぼす加齢の影響、運動能力と生活活動との関連等について活発な質疑があったが、いずれについても著者から納得のいく説明がなされた。よって、審査委員合議の結果、最終試験は合格と決定した。

A cross-sectional study of the size and strength of the extremities muscles in Japanese adults using ultrasonography.

96D28 Hironori SATO

To reveal the age-related feature of extremities muscles size and strength in contemporary Japanese adults, the cross-sectional area (CSA) and maximum voluntary isometric strength of knee and elbow extensor and flexor muscles were measured. The subjects were 121 men and 174 women. Each subject was assigned to one to five age groups (3rd, 4th, 5th, 6th and '7th decade).

1. I constructed the conventional measuring system to visualize the complete cross-sectional image of human extremities using a hand-made water tank with commercial-base ultrasonographic device (3.5 MHz transducer) connected to PC for graphical processing. The water tank in which the shbjects can insert and fix their leg or arm, was specially designed to be able to turn and scan the ultrasound probe once around the targeted extremity every arbitrary angle (e. g., 30 degree) to get several fragmentary graphical images in one cross-sectional plane. Image processing was used to construct a whole cross-sectional image from the fragmentary images. To assess the system's validity, the cross-sectional images of a thigh by MRI and my developed systems were compared in 10 subjects. There was a high correlation between each body compositional area as determined by both systems. In order to assess the reproducibility of the cross-sectional image using this system, I measured the same plane of thigh in 21 subjects twice on the different days, and compared each body compositional area. There were no substantial difference or bias and the high reproducibility was confirmed. My developed ultrasonographic system, in many respects, is superior to other imaging devices, because it is portable, safe and inexpensive.

2. The relations between CSA and maximum voluntary isometric strength of kuee extensor and flexor muscles were examined. The site measured in the thigh was at 50% of the distance between the greater trochanter of the femur and articular cleft between the condyles of the femur and tibia for the thigh. Isometric voluntary strength was measured using a specially designed muscle strength measurement system (TEAC, Japan) with the seated subject's knee at 90 ° flexion. Knee extensor CSA, for both men and women in the 7th decade, was smaller compared to those in younger populations (vs. 3rd and 5th decade for men; 3rd and 4th decade for women). For men, both knee extensor and flexor strengths showed a significant decline at the 7th decade. In contrast, women did not show a change. The aging-associated reduction of muscle strength per

unit of muscle CSA in the knee extensors was not recognized in men. However, the 3rd decade women had less extensor muscles strength per unit of CSA relative to older groups (vs. 5th and 7th decade).

3 . The relations between CSA and maximum voluntary isometric strength of elbow flexor and extensor muscles were examined with age. The scanning plane of cross-sectional image of the upper arm was set at 60% distal the humerus shaft. Isometric voluntary strength of the elbow flexors and extensors were evaluated at the wrist with the seated subject's fixed arm at 90° flexion, elbow at 90° flexion forearm half supinated. While there were no significant difference in elbow flexor and extensor CSA with age in men, the 5th and 6th decade women showed significantly larger than the 3rd decade. The isometric elbow flexor strength showed a significant decline with age from the 7th decade, whereas the isometric elbow extensor strength was no significant change with age in men. For women, both elbow flexor and extensor strengths for the 6th decade were larger than those for the 3rd decade. The aging-associated reduction of muscle strength per unit of muscle CSA in the elbow flexors started from the 6th decade in men. The muscle strength per unit of muscle CSA in the elbow extensors was no significant difference in each age group for both men and women.

It was concluded that the size and strength of the extremities muscles begin to decrease simultaneously by approximately the 7th decade for men. In addition, the fact that contemporary Japanese young women have a relatively small value of muscle strength per unit of CSA in thigh extensors should be recognized for exercise-health programs.

目次

第 1 章　はじめに　7

第 2 章　超音波体肢横断面画像撮影システムの開発　12

2-1　目的　12

2-2　超音波体肢横断面画像撮影システムの構成　13

2-2-1　システム全体の構成　13

2-2-2　水槽　15

2-2-3　体肢横断面画像撮影の手順　17

2-2-4　体肢横断面画像合成のソフトウェア　19

2-3　再現性・妥当性の検討　22

2-3-1　再現性の実験　22

2-3-2　妥当性の実験　24

2-4　考察　26

第 3 章　日本人成人における大腿部筋群横断面積と筋力の年齢変化について　28

3-1　目的　28

3-2　方法　28

3-2-1　調査実施および被検者　28

3-2-2　大腿部筋群横断面積の測定　30

3-2-3　等尺性最大筋力の測定　30

3-2-4　筋単位横断面積当たりの筋力　30

3-2-5　統計処理　32

3-3　結果　33

3-3-1　大腿部筋群横断面積について　33

3-3-2　膝関節伸展・屈曲最大筋力について　36

3-3-3　膝関節伸展・屈曲最大筋力と大腿部筋群横断面積の関係について　36

3-4　考察　43

3-4-1　大腿部筋群横断面積について　43

3-4-2　膝関節伸展・屈曲最大筋力について　44

3-4-3　膝関節伸展・屈曲最大筋力と大腿部筋群横断面積の関係について　44

第4章　日本人成人における上腕部筋群横断面積と筋力の年齢変化について　49

4-1　目的　49

4-2　方法　49

4-2-1　調査実施および被検者　49

4-2-2　上腕部筋群横断面積の測定　51

4-2-3　等尺性最大筋力の測定　51

4-2-4　筋単位横断面積当たりの筋力　54

4-2-5　統計処理　54

4-3　結果　55

4-3-1　上腕部筋群横断面積について　55

4-3-2　肘関節屈曲・伸展最大筋力について　55

4-3-3　肘関節屈曲・伸展最大筋力と上腕部筋群横断面積の関係について　58

4-4　考察　64

4-4-1 上腕部筋群横断面積について　64

4-4-2　肘関節屈曲・伸展最大筋力について　65

4-4-3　肘関節屈曲・伸展最大筋力と上腕部筋群横断面積の関係について　66

4-4-4　筋単位横断面積当たりの筋力の上腕部筋群と大腿部筋群の比較　68

第5章 まとめ　71

参考文献 75

謝辞 80

第１章　はじめに

高齢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。高齢者が介助を受けずに自立した日常生活動作（activity of daily living, ADL）を行うことができる最低限必要な体力とその水準，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。現在，高齢者の体力を評価する方法としては，明治生命厚生事業団によって開発・推奨されている高齢者生活体力測定法 [1,2]といった，生活の実際に密着した方法が注目されているが，高齢者が自ら身体を移動させたり，物を持ち上げたりといった自立した ADL を支えるためには，身体動作に必要な骨格筋，特に体肢の骨格筋の形態・機能に対する基本的な理解や基礎的な資料の集積も，また同様に重要であると考えられる。

身体動作は筋が収縮したり伸展したりすることによって生じる。つまり，筋が収縮することにより力を発揮し，骨格や関節のテコの作用によって身体の外部に働きかけるわけであるが，この能力のことを筋力という。体力の構成要素である筋力は，加齢とともに顕著な低下を示すことが知られており [3-6]，高齢者の ADL にも極めて重要な要素の一つである。

Lexell et al.[7]は加齢に伴って筋繊維数や筋繊維サイズが減少することを認め，その結果としての筋量減少が筋力低下の主な原因の一つであると報告した。12～20 歳の日本人男女を対象に Ikai & Fukunaga[8]が肘関節屈曲力と上腕屈筋群横

断面積の関係について報告しているように，高齢者に限らず，筋力と筋横断面積が密接な関係であることはいうまでもないことであるが，実際に高齢者を対象とした研究としては，筋力のみを評価した報告は数多く存在するが，筋力とその筋力を発揮させた筋の横断面積の関係について検討したものは比較的少なく，そのほとんどが筋力トレーニングを実施した後の筋力や筋横断面積の変化に関する研究[9-13]であり，加齢変化について研究した例は，Young et al.[1 4,15]やOverend et al.[16]による研究ぐらいで非常に少ない。

高齢者の自立した ADL を支えるために必要な筋の形態・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と考えられるが，これまでは高齢者の骨格筋の形態や機能に関する基礎的な資料を収集する目的で，集団を対象とするような調査研究を行おうとしても，生体の筋の構造に関する情報を得ることが容易ではなかった。現在，生体の横断面情報を得る方法として，超音波法[14,15,17-19]，CT (Computerized Tomography)法[20-22]，MRI (Magnetic Resonance Imaging)法[16,23,24] などが利用されているが，CT 法や MRI 法は，鮮明な画像情報は得られるものの，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されない。それに対して，超音波法は比較的安価で可搬性があり，しかも身体に対して無害であるが，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 法や MRI 法などのような完全な横断面画像を撮影することはでき

ない。しかし，前述のような目的でフィールドにおいて展開されるような研究には超音波法のみが適用可能であると考えられる。

そこで本研究では，まず最初に，コンパクトで持ち運びが簡単な市販の超音波診断装置を用い，フィールドにおいてもCT法やMRI法のように体肢の完全な横断面画像が簡便に撮影できる方法の開発を試みた。そのことによって，実験室に限らずフィールドにおいても生体の筋の横断面情報を容易に入手することが可能となる。

Young et al.[14,15]は20歳代と70歳代男女を対象に，超音波法を用いた大腿四頭筋横断面積の測定と膝関節伸展の等尺性最大筋力測定を行い，筋単位横断面積当たりの筋力を求め，筋単位横断面積当たりの筋力は20歳代男性(n=12)が8.7N/cm^2，70歳代男性(n=12)が7.1N/cm^2，20歳代女性(n=25)が7.1N/cm^2，70歳代女性(n=25)が6.9N/cm^{2}で，70歳代男性・女性と20歳代女性はほぼ同じ値で，20歳代男性に比較して約19%小さかったと報告した。筋単位横断面積当たりの筋力の低下は筋量より筋力の方が低下の程度の大きいことを示している。すなわち，男性においては加齢に伴い筋力の方が筋量よりも先行して低下する可能性を示唆した。また，Overend et al.[16]は20歳代男性13名と70歳代男性12名の膝関節伸展・屈曲の等尺性最大筋力および等速性最大筋力（120°/s）の測定とCT法による大腿四頭筋（大腿部伸筋群）とハムストリングス（大腿部屈筋群）の横断面積測定を行い，伸筋群・屈筋群における筋単位横断面積当たりの筋力を求め，加齢に伴う変化について検討した結果，筋単位横断面積当たり

の筋力は低下する傾向を示し，Young et al.[14,15]と同様に筋力の方が筋量よりも先行して低下する可能性を示唆した。しかし，これらの先行研究は，65 歳以上の高齢者を対象としたものであり，高齢者予備軍である 40 歳代から 60 歳代にかけての中高年者の筋力と筋横断面積の関係についての報告はこれまでに筆者の知る限り見受けられない。また，これらの研究の対象者はすべて外国人であり，本邦の急激な高齢者の増加に対応するためには日本人を対象とした早急のデータ収集が望まれる。

そこで本研究では，20～69 歳の日本人成人男女を対象に独自に開発したシステムを用いたフィールド調査を実施し，大腿部および上腕部筋群横断面積と筋力の測定を行い，現在の日本人成人が有する大腿部および上腕部筋群横断面積と筋力に関するデータの集積を試みた。そして，その結果に基づいて大腿部および上腕部筋群横断面積とそれぞれの筋群が発揮した筋力の加齢に伴う変化について検討した。

第 1 章「はじめに」では高齢者を対象とした筋力や筋量に関する先行研究をふまえて本研究の目的を述べた。第 2 章「超音波体肢横断面画像撮影システムの開発」では，これまでは MRI 法や CT 法などのように大かがりな装置でしか撮影することができなかった体肢の完全な横断面画像をフィールド調査においても撮影することが可能な超音波体肢横断面画像撮影システムを開発し，そのシステムの再現性や妥当性について検討した。第 3 章「日本人成人における大腿部筋群横断面積と筋力の年齢変化について」では 20～69 歳の日本人成人男

女 259 名を対象に独自に開発したシステムを用いたフィールド調査を実施し，大腿部横断面積の計測と筋力の測定を行い，その結果に基づいて大腿部筋群横断面積と筋力の加齢に伴う変化について検討した。第 4 章「日本人成人における上腕部筋群横断面積と筋力の年齢変化について」では 20～69 歳の日本人成人男女 218 名を対象に超音波体肢横断面画像撮影システムを用いてフィールド調査において，大腿部と同様に上腕部横断面積と筋力の測定を行い，上腕部筋群横断面積と筋力の加齢に伴う変化について検討した。第 5 章「まとめ」では本研究で得られた結果を示した。なお，第 2 章は人間工学学会誌「人間工学」第 34 巻第 5 号(1998 年)掲載の「超音波体肢横断面画像撮影システムの開発」（著者：佐藤広徳，福田　修，辻　敏夫，三浦　朗，久野譜也，佐藤陽彦，福場良之）に基づいている。

第 2 章　超音波体肢横断面画像撮影システムの開発

2-1　目的

人間工学，医学，体育学など，ヒトを対象とした学問分野においてはしばしば体肢組成を問題にすることがあるが，ヒトの身体組成は，古くは遺体を解剖することが唯一の方法であり，生体の組成を解明することは長い間非常に困難なことであった。

レントゲンの発明でようやく生体の内部構造情報が入手できるようになり，近年，X 線を利用した CT (Computerized Tomography）法が開発され [20-22]，生体の様々な部位の横断面画像が撮影できるようになった。MRI (Magnetic Resonance Imaging)法もまた，生体の横断面情報を入手する方法 [16,23,24]として CT 法同様，臨床医学や診断医学の領域で頻繁に使用されているが，CT 法や MRI 法は，生体の鮮明な横断面画像情報が得られるものの，両者とも非常に高価であるため，大規模な施設にしか設置することができなく，しかも CT 法は X 線照射に伴う身体への悪影響をぬぐいされない。

最近ではごく波長の短い音波を利用して生体の内部が観察できる超音波診断装置が臨床診断や皮下脂肪厚測定などに利用されている [17-19]。この装置は音波を用いたものなので身体に対して無害であり，また，比較的安価でコンパクトなため持ち運びが簡単であるという利点を有する。

しかし，市販の超音波診断装置は体肢の一部を撮影することは可能であるが，

完全な横断面画像を撮影することはできない。そこで，既製の超音波診断装置を用いて測定部位を決定した後，その部位の周りから任意の角度毎に数回撮影し，得られた横断面画像に対してパソコンによる画像処理を施し，体肢の横断面を合成する方法の開発を試みた。

2-2　体肢横断面撮影システムの構成

2-2-1　システムの全体構成

本システムは超音波診断装置，円筒形の水槽およびパソコンで構成されている。本研究で使用した超音波診断装置は，市販の廉価な超音波診断装置（誠鋼社製 SM-206，外形寸法: 230mm×380mm×250mm，重量: 7kg）で，超音波の発現周波数は 3.5MHz であった（図 2-1）。市販の超音波診断装置はいずれの機種も 1 回の撮影では限られた範囲の画像しか得ることができず，体肢の全体像をとらえることができない。本機種の場合も 1 回の撮影では，縦 9cm，横 7cm の長方形の画像しか撮影できない。そこで，同一平面上でプローブの回転操作が可能な水槽を自作し（図 2-1，図 2-2），任意の角度毎に体肢横断面撮影を行い，得られた各画像（断片的な画像）に対して，パソコンを用いた画像処理を施すことで，体肢の横断面を合成することを試みた。

本システムは，コンパクトな構成になっており総重量が約 35kg で運搬が可能なので，実験室のみならず，フィールド調査においても体肢横断面画像が容易に入手できるという特徴を有している。

Fig. 2-1 Ultrasound apparatus and water tank.

2-2-2　水槽

図 2-1 の筒（図 2-2 は断面概略図）は，同一平面上でプローブの回転操作が可能な水槽である。この水槽は 2 層からなる筒状もので，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。アクリル製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で簡単に固定できるようになっている。さらに設定された任意の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回転操作が可能となっている。

アクリル製の筒には，プローブを水平に固定するためのボックスが取り付けてある。ボックスが筒に接する部分には，縦 29mm，横 80mm の開口部があり，ここを超音波が通過するようになっている。撮影時には，この開口部とプローブとの間にファットコンタクト（誠鋼社製）と呼ばれるアタッチメントを装着し，水槽からの水漏れを防止している。ボックスの両側のボルトは，プローブの固定の微調整に使用するためのものである。アクリル製の筒の側面には，30° と 45° 毎にラインが引かれており，撮影時の角度を設定するためのマーカーとなっている。アクリル製の筒と塩化ビニール製の筒の間には，水漏れ防止ならびに滑らかな回転操作のためにパッキン（O リング）が埋め込まれている。塩化ビニールの筒の下部には，下肢の横断面を撮影する際に，撮影部位が筒の中央に置かれるように足先を入れるボックスが設置してある。

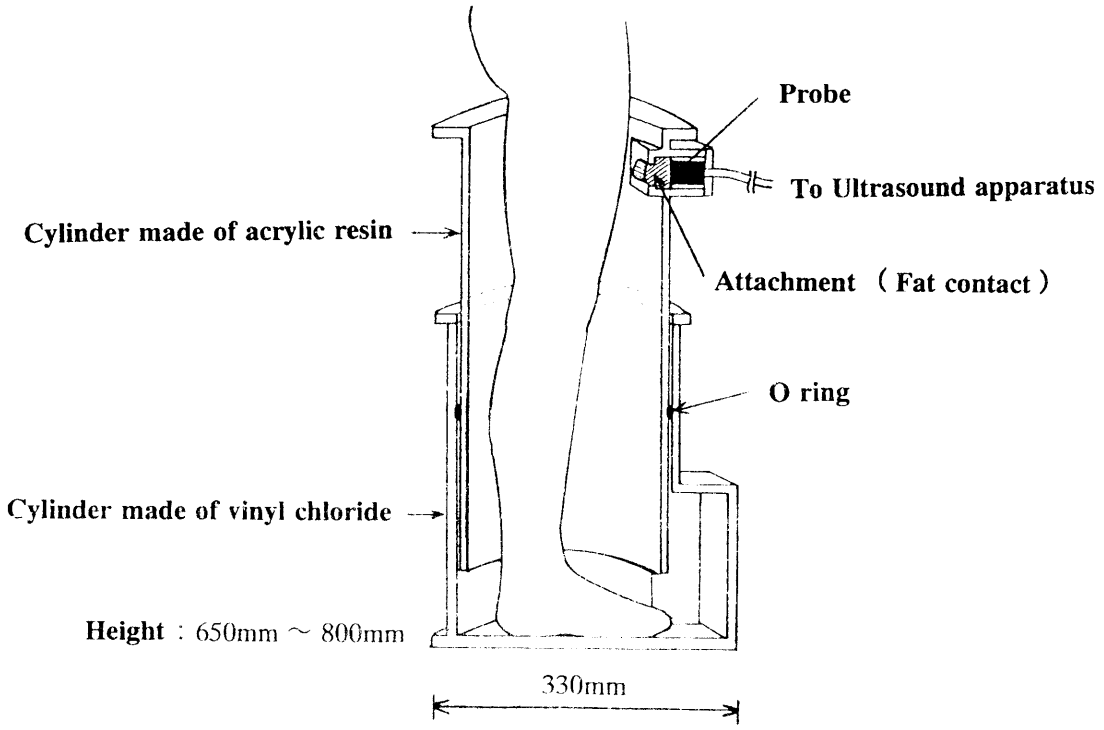

Fig. 2-2 Illustrated outline of the water tank.

2-2-3　体肢横断面画像撮影の手順

まず最初に，生体計測によって撮影したい部位の平面の位置を決定する。例えば本研究の場合，大腿部は，大腿長の転子点から 50%の位置，上腕部は，上腕長の肩峰点から 60%の位置を撮影部位[25]とした。

次に，被検者には，水を満たした水槽の中に撮影体肢を挿入させて固定するように指示し（図 2-3），実験者はアクリル製の上部の筒を手動で回転させながら任意の角度毎に横断面を撮影していく。撮影部位の大きい大腿部は 30° 毎に，その他の部位（上腕，前腕および下腿）は 45° 毎に撮影を行う。この回転角度は任意に設定可能で，測定する部位の太さに応じて設定することが望ましい。撮影時の姿勢は，上肢は図 2-3A のように台上に胸部をのせ，上肢を水槽内に下垂させる。水槽の底には，取っ手を設置しておき被検者にこの取っ手を軽く握らせ，水槽内での上肢の動揺を最小限にする。下肢は図 2-3B のように立位で行い，この時，撮影しない側の臀部と大腿部を台の上に置き，身体の動揺をできるだけ軽減させるようにする。撮影は，プローブを取り付けている水槽の上部の筒を一回転させるだけなので，短時間（約 1〜2 分）で終了する。また，水槽の回転操作を行う際に，水槽内の水が揺れると画像にぶれが生じることがあるのでできるだけ波立たせないように注意を払う必要がある。

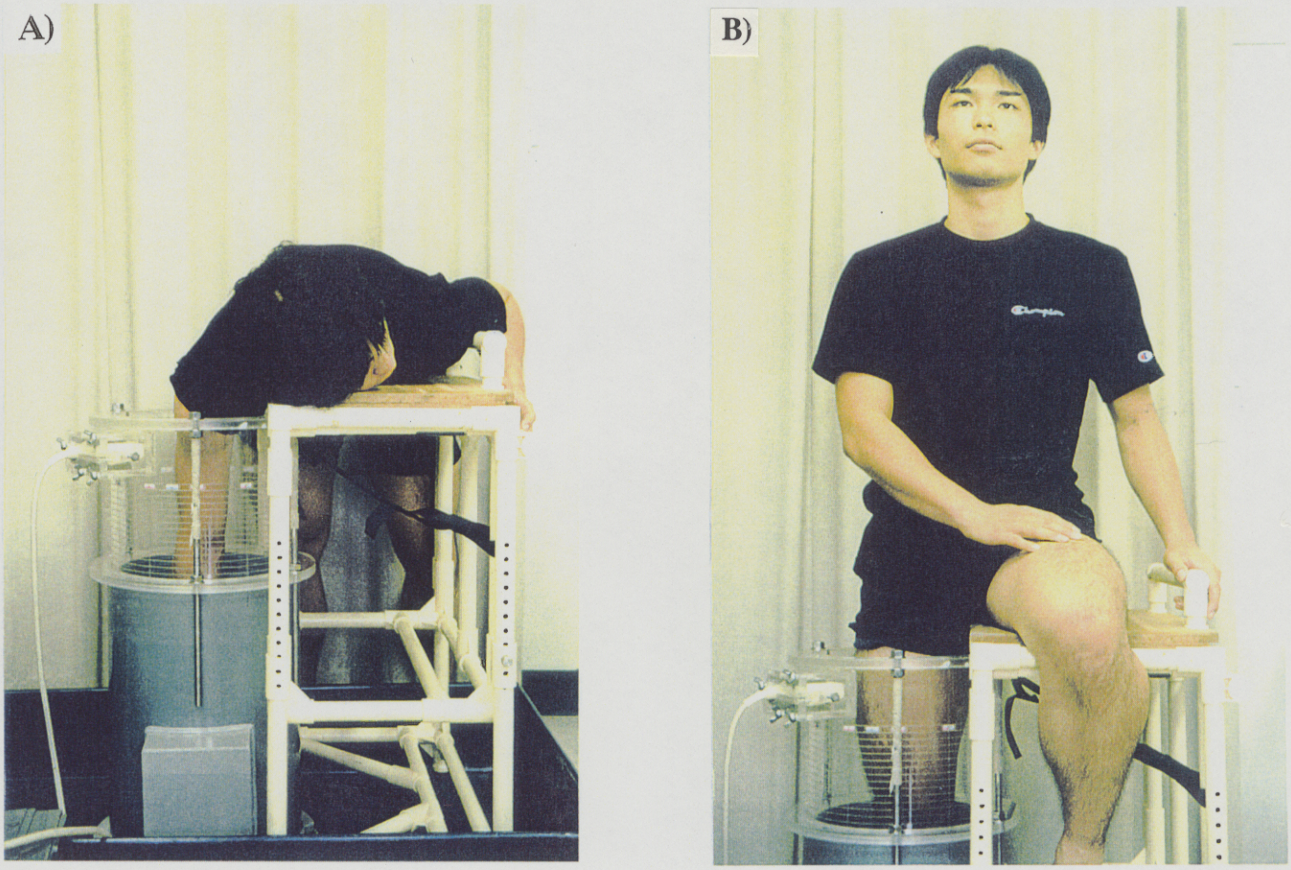

Fig. 2-3 Posture on scanning （A: upper extremity, B: lower extremity）.

2-2-4　体肢横断面画像合成のソフトウェア

画像処理手順は，1) 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合成処理の 3 段階に分けて行った。

まず，体肢横断面撮影装置により前述のように体肢横断面をその中心に対して等間隔角度毎に撮影する。撮影はモニタテレビ画面で確認しながら行い，各角度毎に撮影した断片的な体肢横断面画像は，コンピュータ付属の AV ボードを介してハードディスクに取り込み，その後，この画像データをオフラインで処理して全体像を合成する。画像のキャプチャリングには Video Shop Version 3.0 (Avid 社)を使用した。このときキャプチャする画像の明るさやコントラストをリアルタイムで調節して，より鮮明な画像を 24bit，1677 万色で記録する。

次に，この画像データに対し，筋膜や骨などの特徴を抽出するための前処理を行う。この前処理にはフォトレタッチソフトである Photo shop 3.0J (Adobe 社)を使用した。キャプチャリングされた画像データには，ときおり何らかのノイズが混入してしまったものがあるため，必要に応じてノイズ除去のためのフィルタリングを施すことが可能である。また，筋膜や骨などの特徴は，白い色調となって画像中に表われるので，その特徴が観察し難い場合は白い色調が強調されるような補正も可能である。そして，次に行う合成処理で用いるソフトウェアの仕様上の都合により，最後に画像を 8bit，256 色のグレースケール画像に変換する。

体肢横断面画像の合成処理には，Macintosh のフリーソフトウェアである NIH Image を利用した [26]。このソフトウェアは米国の National Institute of Health の Wayne Rasband が医学・生物学領域の画像処理・画像解析のニーズに合わせて開発したものである。特徴として強力なマクロ機能を兼ね備えており処理のほとんどを自動化し，処理にかかる時間を大幅に削減することができる。

体肢横断面画像は断面の中心に対して等間隔角度毎に撮影されているので，それに合わせた画像の回転変換を行い各画像を重ね合わせる。このとき，複数の画像データが重複する箇所が存在する。それらの箇所に関しては，ピクセル同士の色調を比較して色調の低い方のピクセルを生かすように重ね合わせる。これにより，色調の低い筋膜や骨などの特徴が合成画像上で観察可能となる。また，合成に使用した断片画像を必要に応じて差しかえることや同一部位の画像を複数枚重ねあわせて特徴を強調することなども可能である。さらに，この NIH Image は面積などを計測する機能も兼ね備えており，本システムでの各組織横断面積計測にもこの機能を利用した。

本システムによって撮影された大腿部（右側）の超音波横断面画像の 1 例を図 2-4A（図 2-4B は，同じ部位の MR 画像）に示す。画像からは，皮下脂肪，筋および骨の各組織をはっきりと識別することができる。

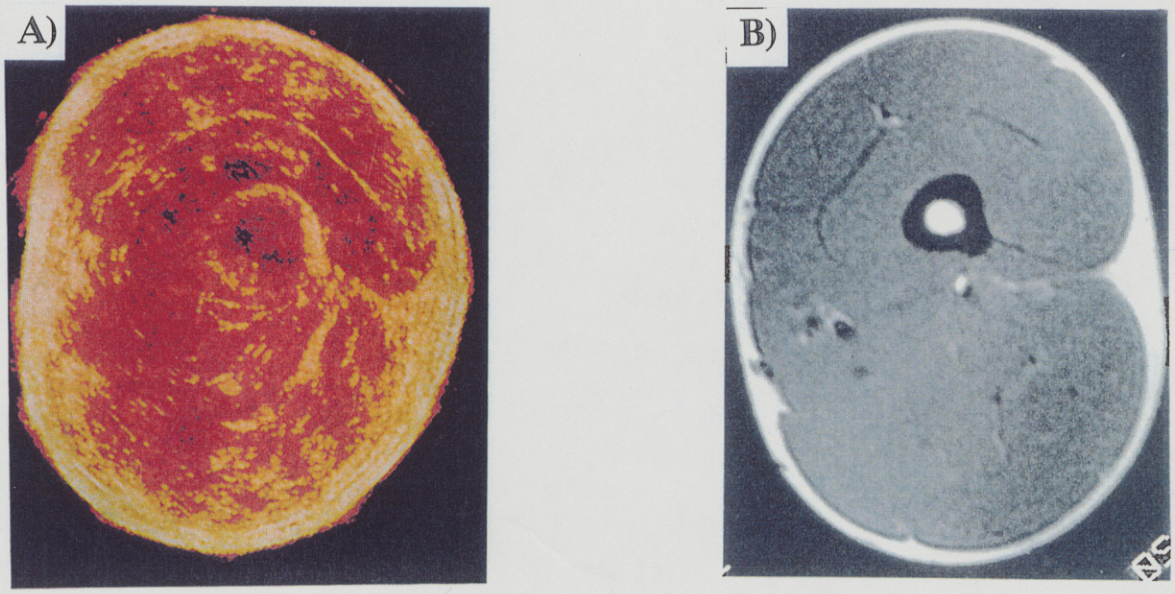

Fig. 2-4 Cross-sectional image of the right thigh （A: Ultrasonography, B: MRI）.

2-3　再現性・妥当性の検討

2-3-1　再現性の実験

1) 実験方法

最初に，一辺が約 10cm の角材（杉材）を用いて本システムの画像合成を確認した後に，同一被検者の同じ部位を 1 日以上の間隔を置いて 2 度撮影し，皮下脂肪，筋および骨の各組織横断面積測定の再現性について検討を行った。被検者は，大学生男女 21 名（男性 18 名，女性 3 名）で，年齢は 21～23 歳であった。撮影部位は，転子点から脛骨点までの距離の 50%の位置で大腿部のほぼ中央とし，右脚のみについて測定を行った。撮影時の姿勢は，立位とした。

2) 結果

図 2-5 は，1 回目と 2 回目に撮影された大腿部横断面画像より計測された各組織横断面積をプロットしたものである。1 回目と 2 回目の各組織横断面積の相関係数は，皮下脂肪が r=0.966，筋が r=0.985，骨が r=0.957 と非常に高く，1 回目と 2 回目の計測値はほぼ一致した。

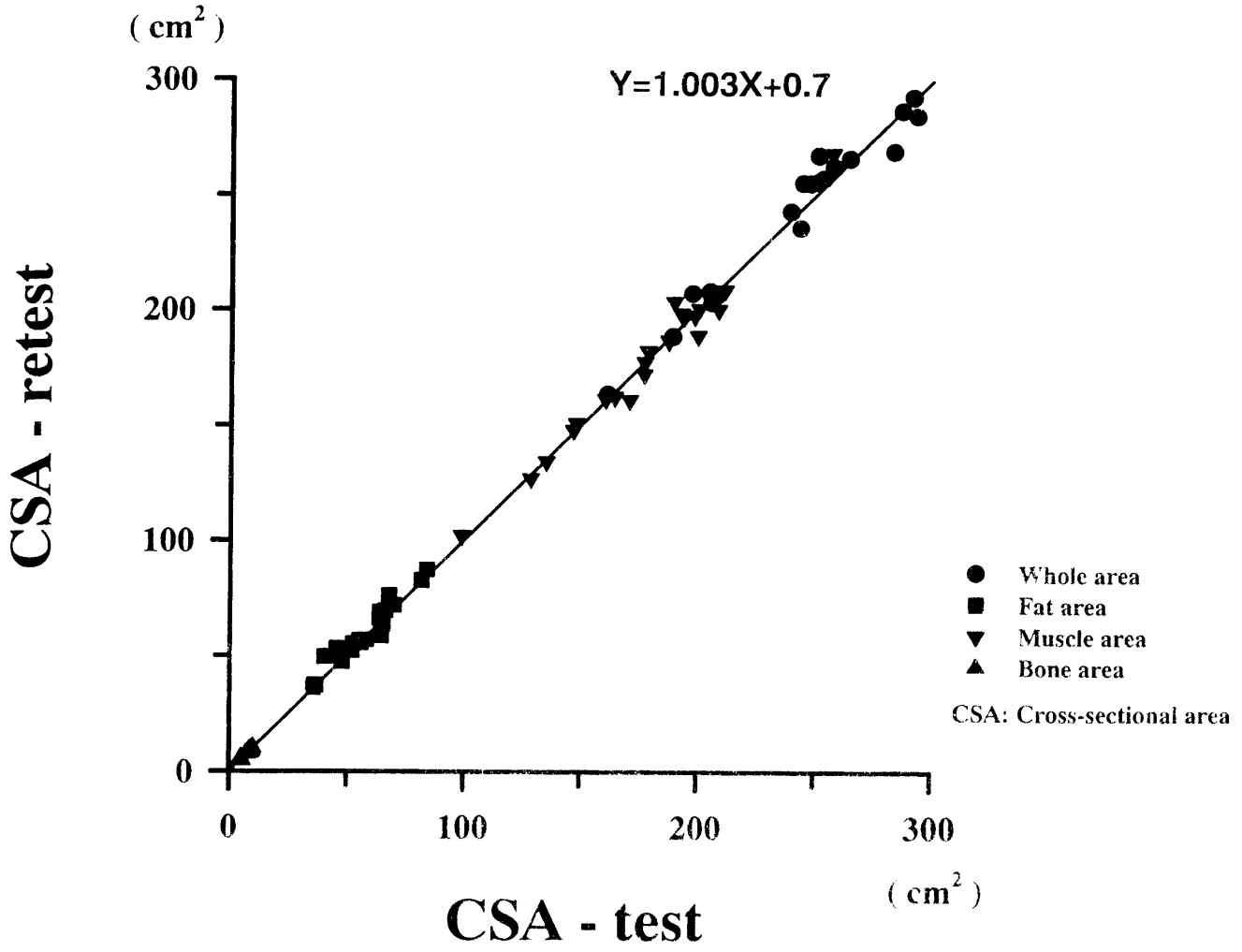

Fig. 2-5 Reproducibility of the system.

2-3-2　妥当性の実験

1) 実験方法

本システムとMRIで体肢の同じ部位を同一日に撮影し，各組織横断面積画像について検討した。被検者は，成人男女 10 名（男性 7 名，女性 3 名）で，年齢は 22～34 歳であった。撮影部位は，再現性の実験と同じ部位で，この場合も右脚のみについて測定を行った。MRIの撮影には1.5Tの超電導MR装置(Signa, GE 社製）を用いた。撮影時の姿勢は，本システムは立位，MRI は仰臥位であった。

2) 結果

図 2-6A は，本システムと MRI で撮影された大腿部横断面画像より計測された各組織横断面積をプロットしたものである。本システムによる各組織横断面積は MRI より全横断面積（皮下脂肪＋筋＋骨）で 7.34±4.97%（平均±標準偏差），皮下脂肪横断面積で 5.24±7.51%，筋横断面積で 8.41±5.09%，骨横断面積で 6.48±4.64%，全体の平均では約 7%大きかった。しかし，図 2-6B のように大腿部全横断面積に対する各組織横断面積の比率の相関係数は，皮下脂肪，筋および骨，それぞれ 0.993，0.994，0.949 で identity line 上に分布し,本システムとMRIの差は，皮下脂肪で0.97±0.73%，筋で1.00±0.73%，骨で0.08±0.04%と両者はほぼ一致していた。

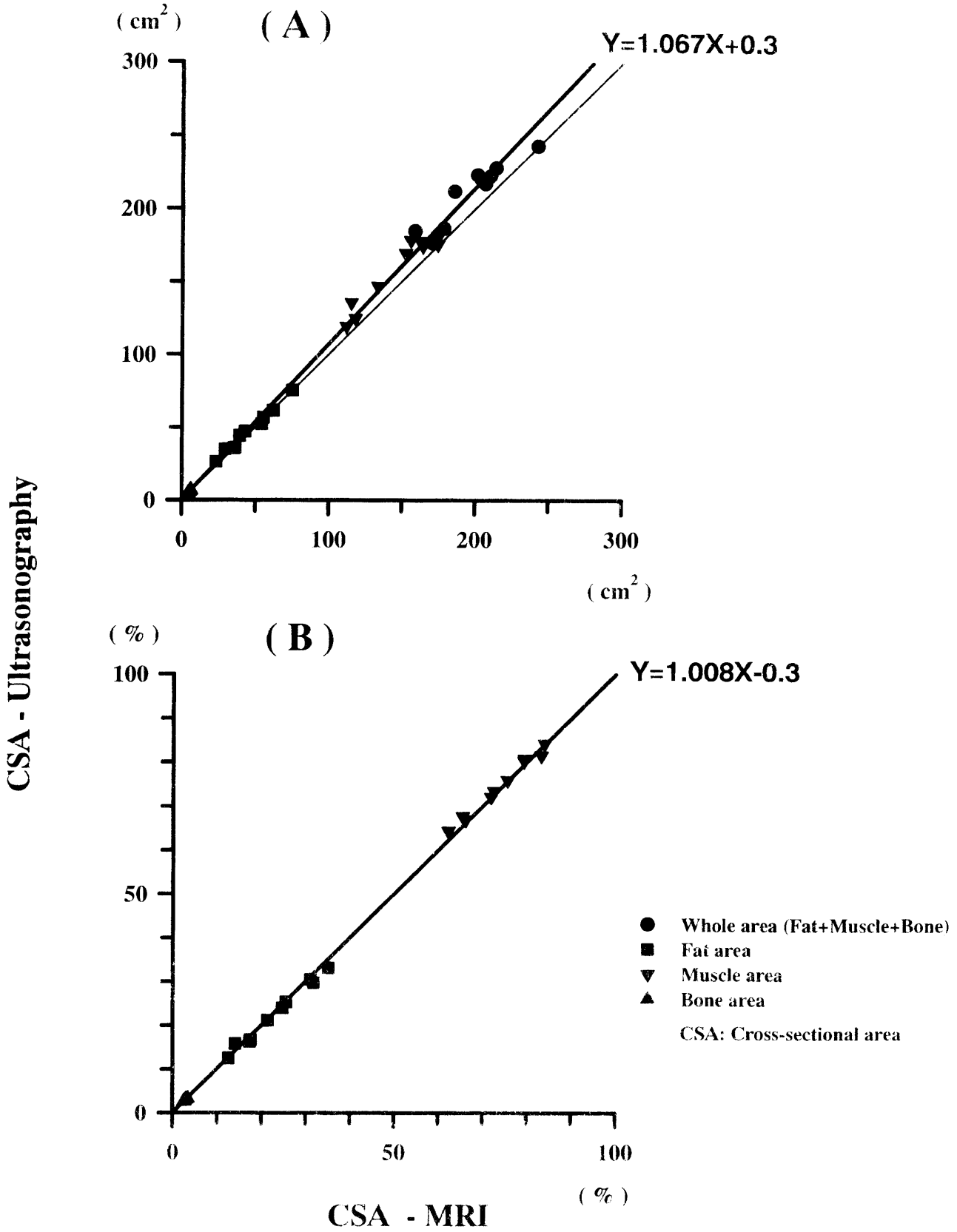

Fig. 2-6 Comparison of fat, muscle, bone and whole cross-sectional area of the thigh between ultrasonography and MRI (A: Absolute area (cm^2), B: Relative percentage of each tissue area to the whole area (%)) .

2-4 考察

本研究において開発した超音波体肢横断面画像撮影システムにより，これまでCT法やMRI法などのように高価で，しかも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が，比較的安価で簡便に入手することが可能となった。本システムの信頼性は，再現性・妥当性の実験を行うことで確認した。再現性については，同一被検者の同じ部位を1日以上の間隔を置いて2度撮影し，各組織横断面積の検討を行ったが，1回目と2回目の計測値はほぼ一致しており，本システムの高い再現性が確認された。また，妥当性については，本システムとMRIで体肢の同じ部位を撮影し，各組織横断面積について検討した。その結果，本システムによる各組織横断面積はMRIより約7%大きい値を示したが，その理由の一つとして，撮影時の姿勢の違い（本システム：立位，MRI：仰臥位）による影響が考えられる。身体組成を議論する場合，組織量そのものより全体に占める比率を問題にすることが多い[27]。なぜなら，組織量そのものだとBody sizeなどの形態的な要因の影響を受けやすく，個人間の量的発達程度を比較することが困難となるからである。そこで，本研究では大腿部全横断面積に対する各組織横断面積の比率についても検討を行った。本システムとMRIの大腿部全横断面積に対する各組織横断面積の比率の相関係数は，皮下脂肪，筋および骨のいずれも0.9以上と非常に高く，両者の差は各組織とも1%以下とわずかであり，ほぼ一致しているものと判断された。

また，この撮影装置は，軽量でコンパクトに作製されているため，可搬性が

あり，測定も短時間で行うことができるので，本研究のようにフィールドで展開されるような集団を対象とした調査的な研究には有効である。さらに，本システムを用いることで，より広範囲な集団における体肢横断面情報の収集が可能となり，今後，体肢組成のデータの蓄積とそれに基づく現代の日本人の基準値といった新たなデータベースの構築が期待される。

第3章　日本人成人における大腿部筋群横断面積と筋力の年齢変化について

3-1　目的

20～69 歳の日本人成人男女を対象に独自に開発したシステムを用いたフィールド調査を実施し，大腿部筋群横断面積と筋力の測定を行い，その結果に基づいて大腿部筋群横断面積と筋力の加齢に伴う変化について検討することを目的とした。

3-2　方法

3-2-1　調査実施および被検者

調査は平成 8 年 8 月から平成 10 年 8 月の間に，広島県，福岡県および宮崎県の 3 県のボランティア集団 7 団体を対象に行い，実施場所はそれぞれの団体が居住する地域の集会所などであった。被検者は，いずれも日常，定期的に運動を行っていない男性 97 名（年齢：20～67 歳），女性 162 名（年齢：20～69 歳）であり，男女とも 10 歳代ごとのグループに区分した。また，被検者の身体的特徴の概要を把握するためと大腿部横断面の撮影箇所を決定するために，生体計測とインピーダンス法（タニタ製 TBF-511）による体脂肪率の測定を行った。被検者の身体的特徴の概要は，表 3-1 に示した。

Table 3-1. Physical characteristics of subjects.

	Age (yr)	Body height (cm)	Body mass (kg)	%Fat (%)
Men	20-29 (n=49)	171.4±6.1	63.7±9.4	20.2±4.9
	30-39 (n=12)	169.4±5.6	61.5±9.4	20.9±3.8
	40-49 (n=14)	165.8±6.1	61.7±9.9	21.2±4.8
	50-59 (n=7)	159.8±4.8	65.9±8.1	27.8±4.8
	60-69 (n=15)	164.0±7.4	64.1±8.6	21.9±4.3
Women	20-29 (n=64)	158.2±5.0	48.7±4.7	23.8±3.6
	30-39 (n=16)	160.4±5.0	53.2±4.8	25.9±3.7
	40-49 (n=20)	154.2±4.2	54.0±5.5	28.4±4.2
	50-59 (n=35)	152.7±4.4	52.5±6.1	28.6±4.7
	60-69 (n=27)	151.3±5.2	54.0±6.8	30.3±5.1

Mean±S.D.

3-2-2　大腿部筋群横断面積の測定

大腿部筋群横断面積の測定は，独自に製作した超音波体肢横断面画像撮影システム [28]によって行った。大腿部の撮影部位は，福永の方法 [25]と同様に大腿長の転子点から 50%の位置とした。なお，本研究においては右脚の大腿部のみについて撮影を行った。超音波体肢横断面画像撮影システムによって得られた大腿部横断面画像（図 2-4A に例示）より，伸筋群および屈筋群を判別し，それぞれの横断面積をパソコンを用いて計測した。屈筋群は各筋の判別が困難であったためにハムストリングス（膝関節屈筋群）に内転筋群を加えたものとした。

3-2-3　等尺性最大筋力の測定

膝関節伸展および屈曲における随意等尺性最大筋力は，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，椅座位で，体幹および大腿をベルトで固定した。膝関節角度は 90° とし，足首に巾 45mm の布製ベルトをかけ，その水平後方にストレインゲージ式ロードセルを連結して測定した（図 3-1)。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。

3-2-4　筋単位横断面積当たりの筋力

筋単位横断面積当たりの筋力は，測定された最大筋力をその張力を発揮させた筋群の横断面積で除すことで算出した。

Fig. 3-1 Muscle strength mesurement system (knee extensor and flexor).

3-2-5　統計処理

測定値は，男女各年齢グループごとの平均と標準偏差で示した。年齢グループ間および男女間の比較には一元の分散分析を行って有意な場合，Scheffe's post hoc test を用いて多群間比較を行った。有意水準は 5%とした。なお，これらの解析はすべて Stat View for Window's, Version 4.5（ヒューリンクス社製）で行った。

3-3　結果

3-3-1　大腿部筋群横断面積について

表 3-2 および図 3-2 は，年齢グループごとの大腿部全横断面積（皮下脂肪＋筋＋骨），筋群全横断面積（伸筋群＋屈筋群）および膝関節伸筋群・屈筋群横断面積の平均と標準偏差を示したものである。大腿部全横断面積において男性は，60 歳代(179.8±23.8cm^2)が，20 歳代(211.2±34.1 cm^2)より有意に小さかったが，女性はどの年齢グループ間にも有意な差はなかった。男女間の差は 20 歳代のみにみられ，男性が女性(185.6±27.5 cm^2)より有意に大きかった。大腿部筋群全横断面積において，男性は 60 歳代(133.6±15.5 cm^2)が 20 歳代(152.6±19.5 cm^2)より有意に小さかったが，女性は大腿部全横断面積と同様に各年齢グループ間に有意な差はみられなかった。また，30 歳代を除くすべての年齢グループで男性が女性より有意に大きかった。膝関節伸筋群横断面積は，男性においては 60 歳代(59.5±9.5 cm^2)が 20 歳代(72.9±10.9 cm^2)，30 歳代(72.1±9.8 cm^2)より有意に小さく，女性は 20 歳代(54.8±8.5 cm^2)，30 歳代(56.5±8.4 cm^2)と 60 歳代(47.7±7.9 cm^2)の間に有意な差がみられ，60 歳代が 20 歳代，30 歳代より小さかった。男女間においてはすべての年齢グループで男性が女性より有意に大きかった。膝関節屈筋群横断面積は，男性ではどの年齢グループ間にも有意な差はみられず，女性では 20 歳代(56.9±10.3 cm^2)が 30 歳代(66.8±10.1 cm^2)，40 歳代(68.4±10.4 cm^2)および 60 歳代(68.5±10.5 cm^2)より有意に小さかった。また，20 歳代と 50 歳代に男女間の差がみられ，男性が女性より有意に

Table 3-2. Cross-sectional area of thigh.

	Age (yr)	Whole (cm^2)	Extensor & flexor muscles (cm^2)	Extensor muscles (cm^2)	Flexor muscles (cm^2)
Men	20-29 (n=49)	211.2±34.1	152.6±19.5	72.9±10.9	79.6±10.8
	30-39 (n=12)	191.9±32.5	133.8±19.8	72.1±9.8	70.5±6.7
	40-49 (n=14)	195.2±32.5	145.8±24.4	72.3±12.7	72.7±13.7
	50-59 (n=7)	201.8±16.0	152.0±9.9	70.5±8.9	81.5±9.5
	60-69 (n=15)	179.8±23.8	133.6±15.5	59.5±9.5	74.1±9.2
Women	20-29 (n=64)	185.6±27.5	112.4±14.7	54.8±8.5	56.9±10.3
	30-39 (n=16)	200.0±25.0	123.3±14.2	56.5±8.4	66.8±10.1
	40-49 (n=20)	198.7±28.9	120.3±15.9	51.9±9.3	68.4±10.4
	50-59 (n=35)	186.5±28.5	114.6±11.8	50.9±6.3	63.7±10.7
	60-69 (n=27)	182.9±23.4	116.2±13.6	47.7±7.9	68.5±10.5

Whole: Total cross-sectional area (Fat+Muscle+Bone)

Mean±S.D.

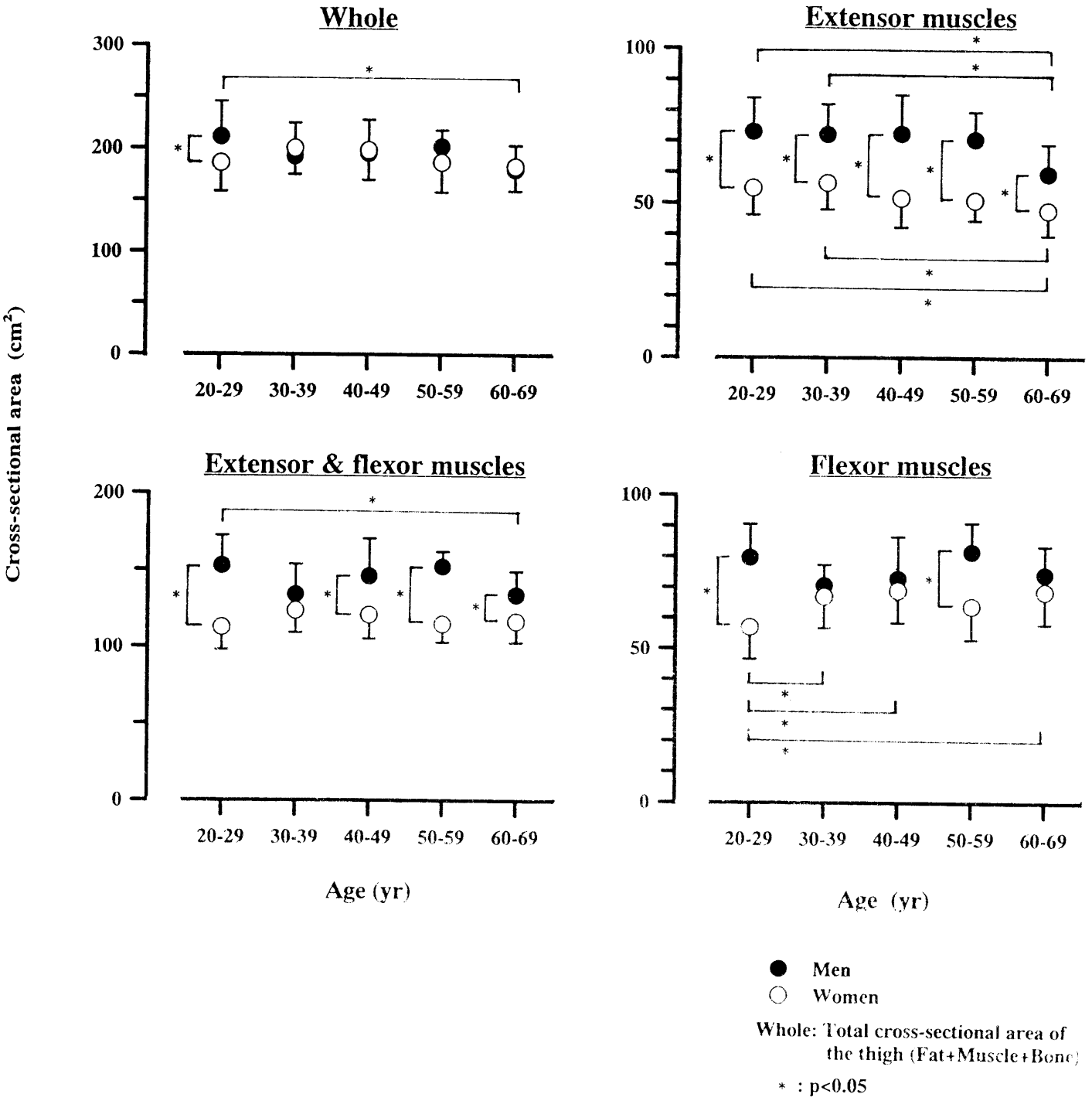

Fig. 3-2 Relationship between age and each area of the thigh in men and women.

大きかった。

3-3-2　膝関節伸展・屈曲最大筋力について

表 3-3 および図 3-3 は，年齢グループごとの膝関節伸展・屈曲最大筋力の平均と標準偏差を示したものである。最大伸展力では，男性において 60 歳代(420.0±124.8N)が 20 歳代(569.7±103.5N)より有意に小さかったが，女性においては各年齢グループ間に有意な差はみられなかった。すべての年齢グループにおいて男性が女性より有意に大きかった。最大屈曲力において，男性では 60 歳代(182.5±57.4N)が 20 歳代(276.0±59.1N)より有意に小さく，女性では各年齢グループ間に有意な差はなかった。男女間の差は 60 歳代を除くすべての年齢グループでみられ，男性が女性より有意に大きかった。

3-3-3　膝関節伸展・屈曲最大筋力と大腿部筋群横断面積の関係について

図 3-4 は，被検者全員の膝関節伸展・屈曲最大筋力と大腿部筋群横断面積の関係を示したものである。伸展力と伸筋群横断面積，屈曲力と屈筋群横断面積の相関係数は，それぞれ r=0.676, r=0.497 で有意な正の相関関係がみられた。

表 3-4 および図 3-5 は，筋単位横断面積当たりの筋力の平均と標準偏差を示したものである。伸筋群における筋単位横断面積当たりの筋力は，男性では各年齢グループ間に有意な差はみられなかったが，女性では 40 歳代(7.2±1.8 N/cm^2)，60 歳代(7.3±1.5 N/cm^2)が 20 歳代(6.1±1.5 N/cm^2)より有意に大きかっ

た。また，20 歳代と 30 歳代で男女間に差がみられ，男性が女性より有意に大きかった。屈筋群における筋単位横断面積当たりの筋力は，男性では 60 歳代(2.5 ±0.8 N/cm^2)が，20 歳代(3.4±0.6 N/cm^2) および 30 歳代(3.7±1.0 N/cm^2)より有意に小さく，女性では 60 歳代(2.2±0.4 N/cm^2)が 20 歳代(2.7±0.8 N/cm^2)より有意に小さかった。20 歳代，30 歳代および 40 歳代で男性が女性より有意に大きかった。

Table 3-3. Muscle strength of knee extensors and flexors.

	Age (yr)	Extensors (N)	Flexors (N)
Men	20-29 (n=49)	569.7±103.5	276.0±59.1
	30-39 (n=12)	552.2±115.2	263.0±84.5
	40-49 (n=14)	520.0±142.6	227.2±100.9
	50-59 (n=7)	481.3±129.4	207.3±71.7
	60-69 (n=15)	420.0±124.8	182.5±57.4
Women	20-29 (n=64)	329.7±81.0	152.8±41.2
	30-39 (n=16)	328.2±84.5	177.1±60.5
	40-49 (n=20)	368.3±82.9	160.5±33.2
	50-59 (n=35)	343.0±73.6	157.4±31.3
	60-69 (n=27)	347.0±74.1	153.3±36.2

Mean±S.D.

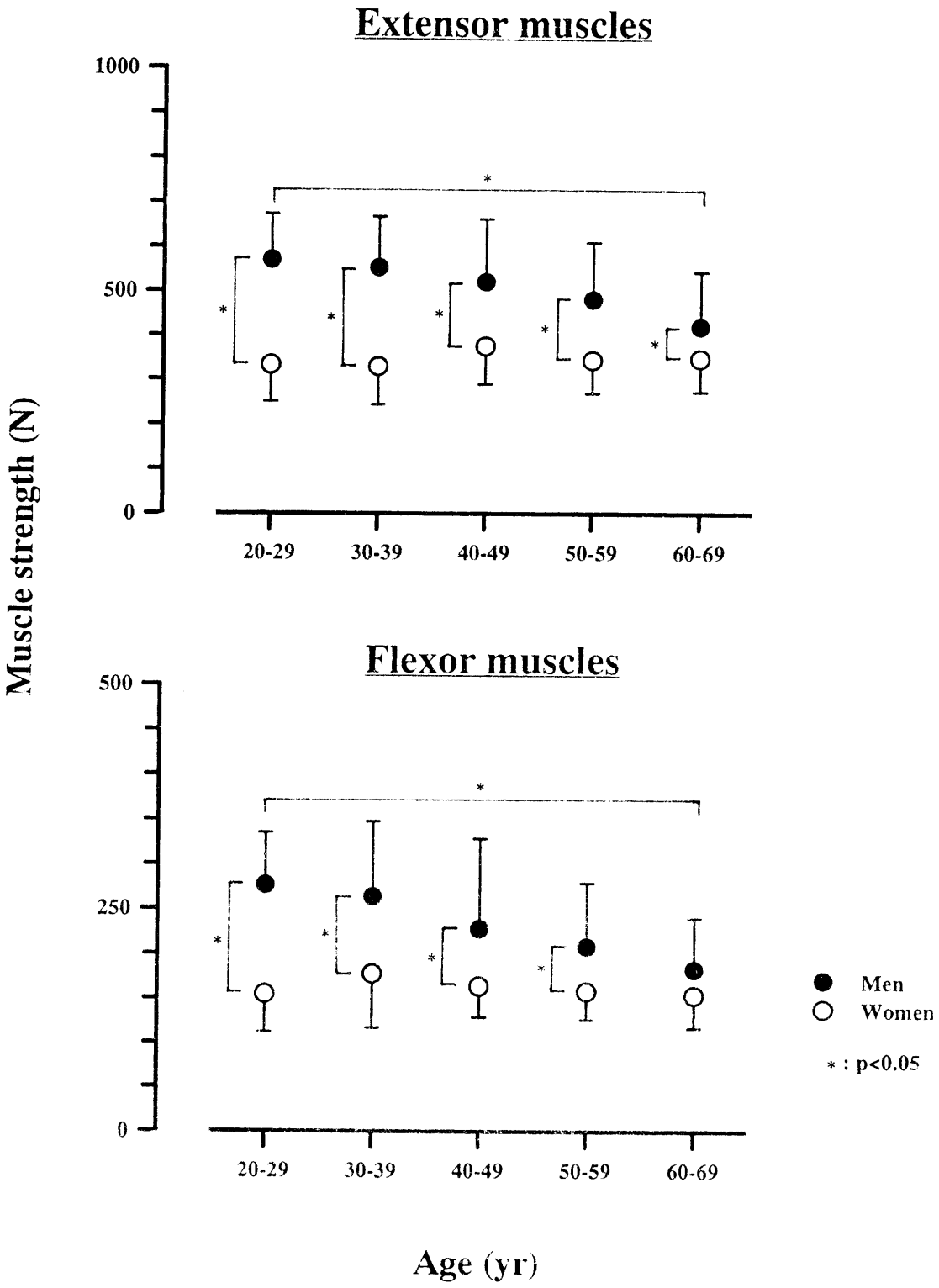

Fig. 3-3 Relationship between age and muscle strength of the knee extensors and flexors in men and women.

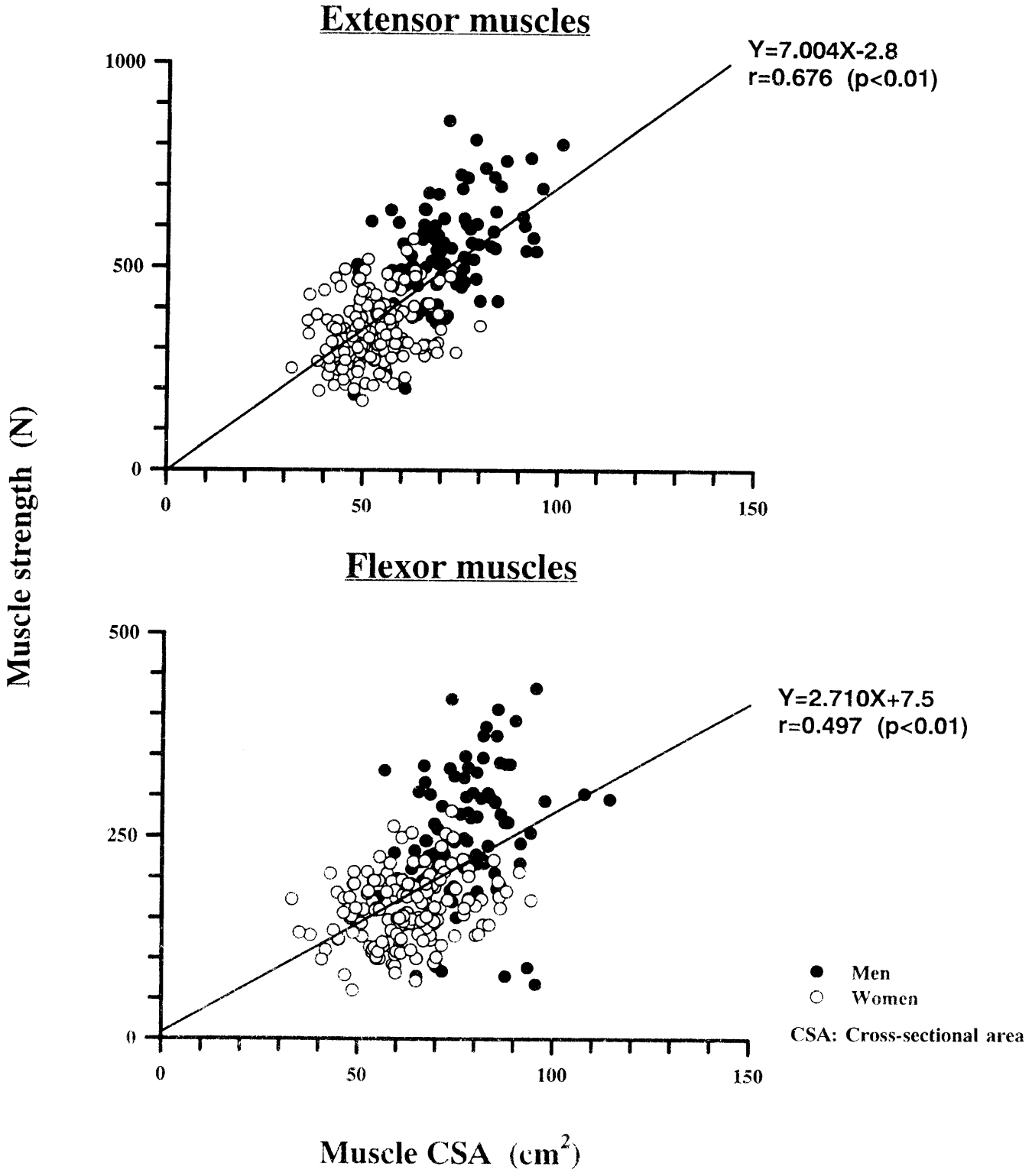

Fig. 3-4 Relationship between muscle strength and muscle CSA of the thigh in men and women.

Table 3-4. Muscle strength per unit of muscle CSA of knee extensors and flexors.

	Age (yr)	Extensors (N/cm^2)	Flexors (N/cm^2)
Men	20-29 (n=49)	7.8±1.4	3.4±0.6
	30-39 (n=12)	7.7±1.5	3.7±1.0
	40-49 (n=14)	7.1±1.1	3.1±1.3
	50-59 (n=7)	6.8±1.4	2.6±0.9
	60-69 (n=15)	7.1±2.3	2.5±0.8
Women	20-29 (n=64)	6.1±1.5	2.7±0.8
	30-39 (n=16)	5.9±1.6	2.6±0.7
	40-49 (n=20)	7.2±1.8	2.4±0.5
	50-59 (n=35)	6.7±1.1	2.5±0.7
	60-69 (n=27)	7.3±1.5	2.2±0.4

Mean±S.D.

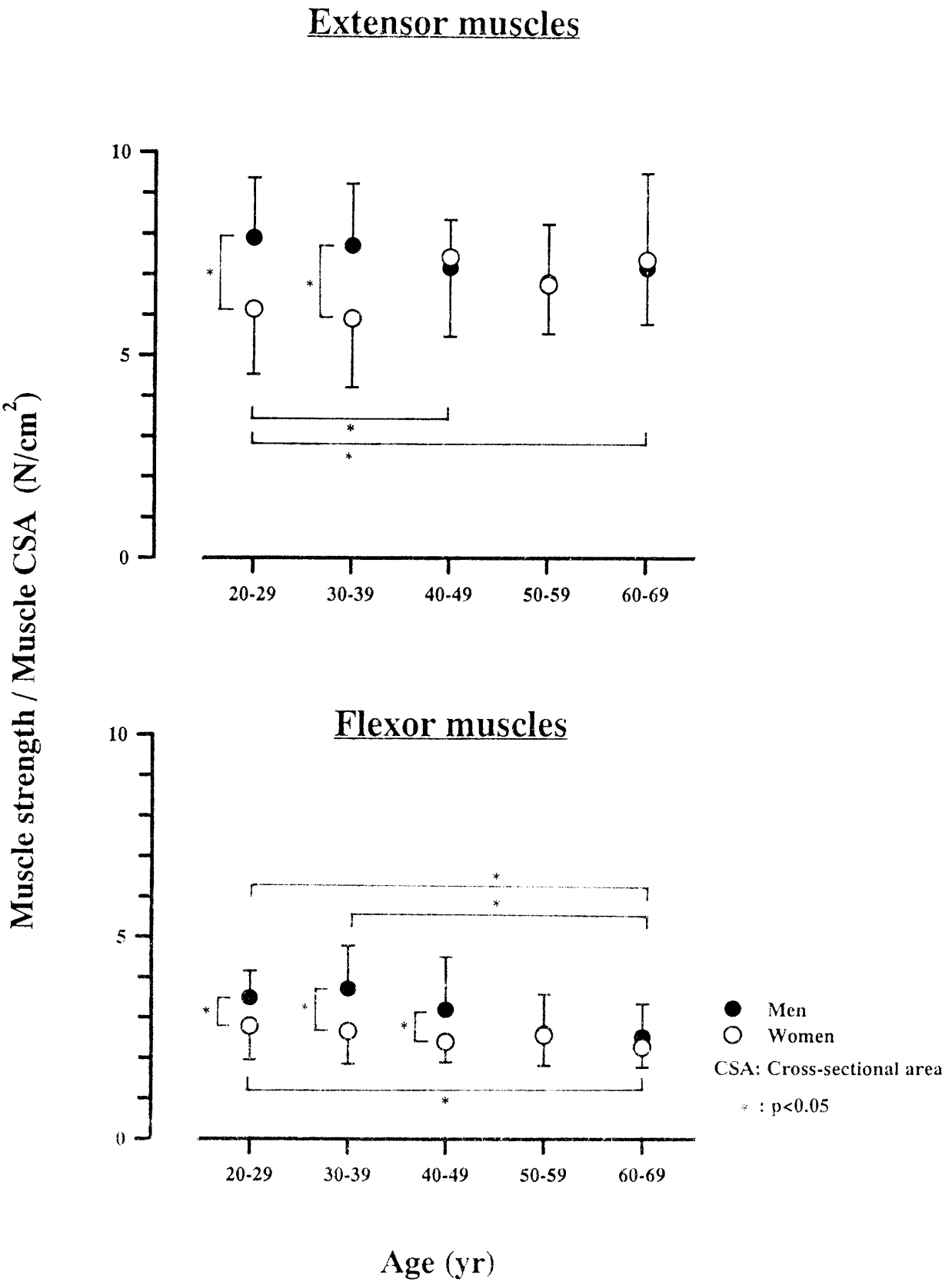

Fig. 3-5 Relationship between age and muscle strength per unit of muscle CSA of the thigh in men and women.

3-4 考察

3-4-1 大腿部筋群横断面積について

福永と金久[27]の加齢による体肢筋横断面積の変化に関する報告によると，20歳代から50歳代までの間では筋横断面積の明らかな減少は認められていない。本研究の結果も男女とも 50 歳代までは年齢による変化はみられず，福永と金久[27]の結果とほぼ一致していた。

福永と金久[27] の報告は，大腿部筋群全横断面積を用いたものであったため，安部と福永[29]は加齢に伴う筋の変化が部位によって違いがあるか否かについて検討するために，生後 6 ケ月の乳児から 80 歳代までの男女被検者を対象に大腿前面・後面のそれぞれの筋組織厚を測定した。その結果，伸筋群は 20 歳代をピークに 80 歳代まで著しい低下を示すが，屈筋群は 50 歳代まで減少はみられず，それ以降に減少がみられ，年齢に伴う筋の変化は部位によって異なることを報告した。そこで本研究でも筋横断面積を膝関節伸筋群と屈筋群に分けて検討したが（表 3-2，図 3-2），伸筋群においては男女とも 20 歳代から 50 歳代までは変化がみられなかったが，60 歳代で減少傾向を示した。Lexell et al.[7]はバイオプシーにより男性の外側広筋の加齢に伴う筋繊維数や筋繊維横断面積の変化を調べ，筋繊維横断面積は 24 歳をピークにそれ以降は緩やかな減少を示し，50 歳を過ぎると減少が顕著になったと報告している。この筋繊維横断面積の減少も本研究で行った大腿長の 50%の位置での伸筋群横断面積の減少傾向もほぼ一致していた。

3-4-2　膝関節伸展・屈曲最大筋力について

Larsson[3]は，11～70 歳の男性 114 名を対象に大腿四頭筋の等尺性最大筋力を測定し，筋力は 30 歳までは増大し，その後 50 歳までは変化がなく一定で，50 歳を越えると低下がみられたと報告している。また，44 歳から 87 歳までの女性 106 人の膝関節伸展・屈曲の等速性ピークトルクを測定した研究で，Calmels et al.[4]は，筋力の低下が認められたのは 60 歳代からであったと報告している。このほかにも，最大筋力の加齢に伴う変化に関する研究は数多くあり，どの結果も筋力の低下は，50 歳代から 60 歳代に顕著になると報告しており，この点に関してはほぼ一致した見解を得ていると考えてよさそうである。本研究では，伸展力において男性は，先行研究の結果と同様に 60 歳代で低下がみられたが，女性は加齢による変化はみられなかった（図 3-3)。また，屈曲力において男性は 40 歳代から減少する傾向がみられ，先行研究よりやや若い年齢から減少するという結果であった。

3-4-3　膝関節伸展・屈曲最大筋力と大腿部筋群横断面積の関係について

膝関節伸展・屈曲最大筋力と大腿部伸筋群・屈筋群横断面積の関係は，共に有意な相関関係が認められ，伸展・屈曲の回帰直線はそれぞれ Y=7.004X-2.8(X; 筋横断面積(cm^2)，Y; 筋力(N))，Y=2.710X-7.5 で原点付近を通るものであった。大腿部における伸展・屈曲最大筋力は，比較的高い確率で筋力を発揮させた筋横断面積によって説明されることが示された。また，伸展・屈曲のそれぞれの

相関係数をみると伸展の方が屈曲よりも大きい結果が得られた。伸展の場合の筋横断面積は伸展力を発揮させた大腿四頭筋を正確に評価できたが，屈曲の場合は，屈曲力を発揮させたハムストリングスに内転筋群を加えた横断面積で評価したことや，膝関節屈曲力は日常生活の中では歩行時に使われる程度で最大筋力を発揮することはほとんどなく，測定の際に多くの被検者が力を発揮することが難しかったと答えており，膝関節屈曲力については正確な最大筋力が得られなかった被検者もいたのではないかという疑問点もあり，このようなことが原因で相関係数が低くなったものと思われる。

Young et al.[15]は，70 歳代と 20 歳代男性を対象に行った膝関節伸展力と大腿四頭筋横断面積の関係の研究で，膝関節伸展力は 70 歳代が 20 歳代よりも 39%低下しているにもかかわらず，大腿四頭筋横断面積は 25%の減少にすぎず，高齢者においては筋力の方が筋量より低下の程度の大きいことを示した。すなわち，加齢に伴い筋力の方が筋量よりも先行して低下する可能性を示唆した。本研究では，70 歳代の被検者を確保することができなかったので，60 歳代と 20 歳代男性で同様な比較を行ってみたところ，膝関節伸展力の低下と大腿四頭筋横断面積の減少は，それぞれ 27%と 19%であり，Young et al.[15]の結果と同様に筋力低下の方が大きいという結果が得られた。また，Young et al.[14,15]は筋単位横断面積当たりの筋力について 20 歳代男性は 8.7 N/cm^2，70 歳代男性は 7.1 N/cm^2，20 歳代女性は 7.1 N/cm^2，70 歳代女性は 6.9 N/cm^{2}で，70 歳代男性・女性と 20 歳代女性はほぼ同じ値で，20 歳代男性より約 19%小さかったと報告した。本研究

においては，20 歳代男性が 7.8 N/cm^2，60 歳代男性が 7.1 N/cm^2，20 歳代女性が 6.1 N/cm^2，60 歳代女性が 7.3 N/cm^{2}で，20 歳代男女が Young et al.[14,15]の結果よりはやや低い値であった。

加齢に伴う筋力低下は，Lexell et al.[7]が加齢に伴って外側広筋の筋繊維数や筋繊維横断面積が減少することを発見し，その結果としての筋量の減少が主な原因の一つであると報告しているように，筋量の減少は筋力低下に大きな影響を及ぼすものと考えられる。しかし，本研究や先行研究の結果から筋単位横断面積当たりの筋力も，加齢とともに低下していくことが示された。すなわち，筋力と筋量の関係における加齢変化は，筋量よりも筋力の方が先行して低下するということである。したがって，加齢に伴う筋単位横断面積当たりの筋力の低下は，Lexell et al.[7]が筋力低下の原因の一つとして報告した筋量減少以外にも原因が存在する可能性を示唆するものである。

Moritani & deVries[30]は 67～72 歳の高齢者に週 3 回の筋力トレーニングを 8 週間課したところ，筋放電量および筋量の測定結果から高齢者は 18～26 歳の若者に比較し，筋肥大より神経性因子の改善が筋力向上に大きく貢献すると報告した。この結果を考慮すると，加齢に伴う筋力低下には神経性因子の変化が関わっていることが推察される。Brown[31]は，加齢とともに運動単位数が減少すると報告しており，このような神経系の変化も筋力低下の一因となることが考えられる。さらには筋力発揮時における運動単位動員数の変化なども影響を与えていることが考えられる。

Moritani & deVries[30]が報告しているようにトレーニングを行うことで筋力の増大がみられるということは，おそらく中高年者の日常生活における身体活動量減少などが神経系に何らかの影響を及ぼし，筋力低下を引き起こしているものと考えられるが，本研究においては中高年者の日常身体活動量についての調査は行っていないので考察することはできなかった。今後は中高年者の生活習慣などをあわせて調査し，詳細に検討する必要があるものと思われる。

本研究で示した筋単位横断面積当たりの筋力は，男女のどの年齢グループにおいても伸筋群が屈筋群よりも大きかった。これは筋単位横断面積当たりの筋力を算出する際に使った筋横断面積が，伸筋群（大腿四頭筋）は大腿部横断面画像よりはっきり判別することができたが，屈筋群においてはハムストリングスと内転筋群を区別することができず，屈筋群における筋単位横断面積当たりの筋力の算出にはハムストリングスに内転筋群を加えた筋横断面積で除したことがその原因の一つであると考えられる。そこで，Overend et al.[16]が報告しているMRIによる大腿中央部における20歳代男性の大腿四頭筋とハムストリングスの測定値（ハムストリングス横断面積は大腿四頭筋横断面積の48%）を用いて屈筋群の筋単位横断面積当たりの筋力を試算してみた。その結果，伸筋群（本研究での測定値）7.8N/cm^2，屈筋群（推定値）7.9N/cm^{2}で両者はほぼ一致した。この面積比を他の年齢グループにも適用し，屈筋群の筋単位横断面積当たりの筋力を推定してみたが，高齢になるほど伸筋群と屈筋群における筋単位横断面積当たりの筋力の差は大きくなった。安部と福永[29]が加齢に伴う筋の萎縮の程

度は部位によって異なることを報告しているように，中高年者と 20 歳代の若者では大腿部における伸筋群横断面積と屈筋群横断面積の比率は異なる可能性があるので，20 歳代以外の年齢グループにおける屈筋群の筋単位横断面積当たりの筋力の推定に 20 歳代の値を用いることは妥当ではないものと思われる。しかし，各年齢グループにおいて大腿部伸筋群および屈筋群の筋単位横断面積当たりの筋力に差があるか否かについては興味深いことなので，ハムストリングスと内転筋群の判別が可能になるように本研究で開発した超音波体肢横断面画像撮影システムによる大腿部横断面画像の画質を現在より向上させ，正確な屈筋群の筋単位横断面積当たりの筋力を算出してみたいと考えている。

第4章　日本人成人における上腕部筋群横断面積と筋力の年齢変化について

4-1　目的

20～69 歳の日本人成人男女を対象に超音波体肢横断面画像撮影システムを用いてフィールド調査において，大腿部と同様に上腕部筋群横断面積と筋力の測定を行い，上腕部筋群横断面積と筋力の加齢に伴う変化について検討することを目的とした。

4-2　方法

4-2-1　調査実施および被検者

調査は平成 8 年 8 月から平成 9 年 12 月の間に，広島県，福岡県および宮崎県の 3 県のボランティア集団 6 団体を対象に行い，実施場所はそれぞれの団体が居住する地域の集会所などであった。被検者は，いずれも日常，定期的に運動を行っていない男性 102 名（年齢：20～65 歳），女性 116 名（年齢：20～69 歳）であり，男女とも 10 歳代ごとのグループに区分した。なお，これらの被検者のうち男性 78 名，女性 104 名が上腕部，大腿部とも測定を行った。また，被検者の身体的特徴の概要を把握するためと上腕部横断面の撮影箇所を決定するために，生体計測とインピーダンス法（タニタ製 TBF-511）による体脂肪率の測定を行った。被検者の身体的特徴の概要は，表 4-1 に示した。

Table 4-1. Physical characteristics of subjects.

	Age (yr)	Body height (cm)	Body mass (kg)	%Fat (%)
Men	20-29 (n=64)	171.2±6.2	65.7±11.5	21.0±6.7
	30-39 (n=10)	168.6±5.8	61.3±10.0	21.1±4.1
	40-49 (n=13)	165.8±6.0	61.2±9.0	21.3±4.8
	50-59 (n=8)	161.2±6.3	64.8±6.7	26.3±5.5
	60-69 (n=7)	164.2±6.3	62.3±9.7	22.4±2.8
Women	20-29 (n=71)	158.2±4.7	49.2±4.6	24.4±3.6
	30-39 (n=8)	160.6±4.9	53.6±5.8	26.7±3.8
	40-49 (n=11)	154.9±4.6	55.8±6.0	29.8±4.1
	50-59 (n=21)	152.1±3.9	51.2±5.4	27.8±4.0
	60-69 (n=5)	149.9±2.2	54.0±7.8	31.8±5.5

Mean±S.D.

4-2-2　上腕部筋群横断面積の測定

上腕部筋群横断面積の測定は，大腿部と同様に独自に製作した超音波体肢横断面画像撮影システム [28]によって行った。上腕部の撮影部位は，福永 [25] の方法を用い上腕長の肩峰点から 60%の位置とし，撮影時の姿勢は，図 2-3A のように台上に胸部をのせ，上肢を水槽内に下垂させた。水槽の底には，取っ手を設置しておき被検者にこの取っ手を軽く握らせ，水槽内での上肢の動揺を最小限にした。撮影は，プローブを取り付けている水槽の上部の筒を 45° ごとに撮影しながら一回転させるだけなので，1 人当たりの所要時間は約 2 分であった。なお，本研究においては右腕の上腕部のみについて撮影を行った。超音波体肢横断面画像撮影システムによって得られた上腕部の横断面画像（図 4-1 に例示）より屈筋群（上腕二頭筋＋上腕筋），伸筋群（上腕三頭筋）を判別し，各筋群横断面積をパソコンを用いて計測した。

4-2-3　等尺性最大筋力の測定

肘関節屈曲および伸展における随意等尺性最大筋力は，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，体幹をベルトで固定した。前腕は中立位で肘関節の測定角度は 90° とし，手首に巾 45mm の布製ベルトをかけ，その水平後方にストレインゲージ式ロードセルを連結して測定した（図 4-2)。測定は，各被検者とも右腕についてのみ 2 回ずつ行い，大きな方の値を最大筋力とした。

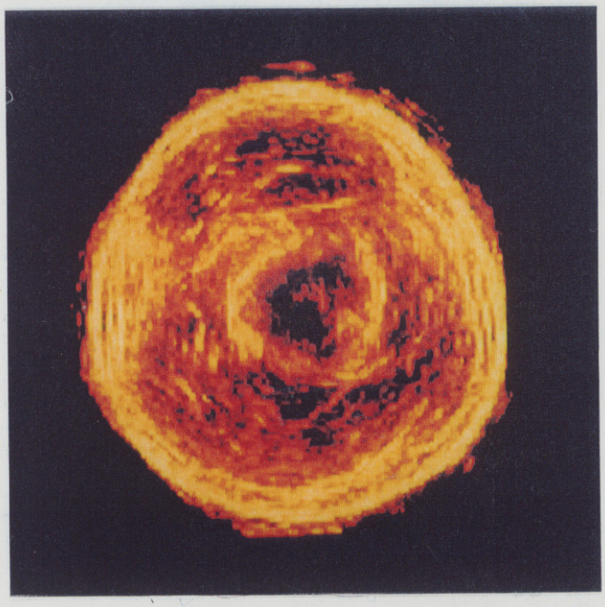

Fig. 4-1 Cross-sectional image of the right upper arm.

Fig. 4-2 Muscle strength mesurement system (elbow flexor and extensor).

4-2-4　筋単位横断面積当たりの筋力

筋単位横断面積当たりの筋力は，測定された最大筋力をその張力を発揮させた筋群の横断面積で除すことで算出した。

4-2-5　統計処理

測定値は，男女各年齢グループごとの平均と標準偏差で示した。年齢グループ間および男女間の比較には一元の分散分析を行って有意な場合，Scheffe's post hoc test を用いて多群間比較を行った。有意水準は 5%とした。なお，これらの解析はすべて Stat View for Window's, Version 4.5（ヒューリンクス社製）で行った。

4-3　結果

4-3-1　上腕部筋群横断面積について

表 4-2 および図 4-3 は，年齢グループごとの上腕部全横断面積（皮下脂肪＋筋＋骨），筋群全横断面積（屈筋群＋伸筋群）および肘関節屈筋群・伸筋群横断面積の平均と標準偏差を示したものである。男女それぞれの年齢グループ間では，上腕部全横断面積において男性は，どの年齢グループ間にも有意な差はなかったが，女性は 20 歳代(51.2±6.9cm^2)が，40 歳代(67.7±8.0 cm^2)，50 歳代(64.5±8.6 cm^2)および 60 歳代(74.1±15.4 cm^2)より有意に小さかった。また，20 歳代のみに男女間の差がみられ，男性が女性より有意に大きかった。上腕部筋群全横断面積，肘関節屈筋群横断面積および肘関節伸筋群横断面積において，女性は 20 歳代が 40 歳代，50 歳代より有意に小さかったが，男性は年齢グループ間に有意差はみられなかった。男女間については，上腕部筋群全横断面積および肘関節伸筋群横断面積ですべての年齢グループにおいて，肘関節屈筋群横断面積で 60 歳代を除く 20 歳代～50 歳代において，いずれも男性が女性より有意に大きかった。

4-3-2　肘関節屈曲・伸展最大筋力について

表 4-3 および図 4-4 は，年齢グループごとの肘関節屈曲・伸展最大筋力の平均と標準偏差を示したものである。男女それぞれの年齢グループ間では，肘関節最大屈曲力では，男性において 60 歳代(189.9±44.2N)が 30 歳代(257.7±42.8N)

Table 4-2. Cross-sectional area of upper arm.

	Age (yr)	Whole (cm^2)	Extensor & flexor muscles (cm^2)	Extensor muscles (cm^2)	Flexor muscles (cm^2)
Men	20-29 (n=64)	70.8±12.0	46.1±7.0	19.2±3.3	26.9±5.6
	30-39 (n=10)	68.1±11.9	46.7±8.1	18.8±3.2	27.9±6.0
	40-49 (n=13)	68.1±10.3	46.6±7.0	19.8±3.3	26.8±6.3
	50-59 (n=8)	69.5±5.8	47.1±5.1	20.9±3.0	26.2±3.1
	60-69 (n=7)	67.0±7.6	44.3±3.6	19.8±3.2	24.5±2.8
Women	20-29 (n=71)	51.2±6.9	27.6±4.3	12.2±2.3	15.4±3.3
	30-39 (n=8)	60.0±11.6	32.0±4.0	14.8±3.2	17.2±3.3
	40-49 (n=11)	67.7±8.0	35.3±6.1	15.9±4.1	19.4±4.1
	50-59 (n=21)	64.5±8.6	33.4±4.6	15.0±2.3	18.4±13.2
	60-69 (n=5)	74.1±15.4	33.9±5.6	15.5±3.6	18.4±4.4

Whole: Total cross-sectional area (Fat+Muscle+Bone)

Mean±S.D.

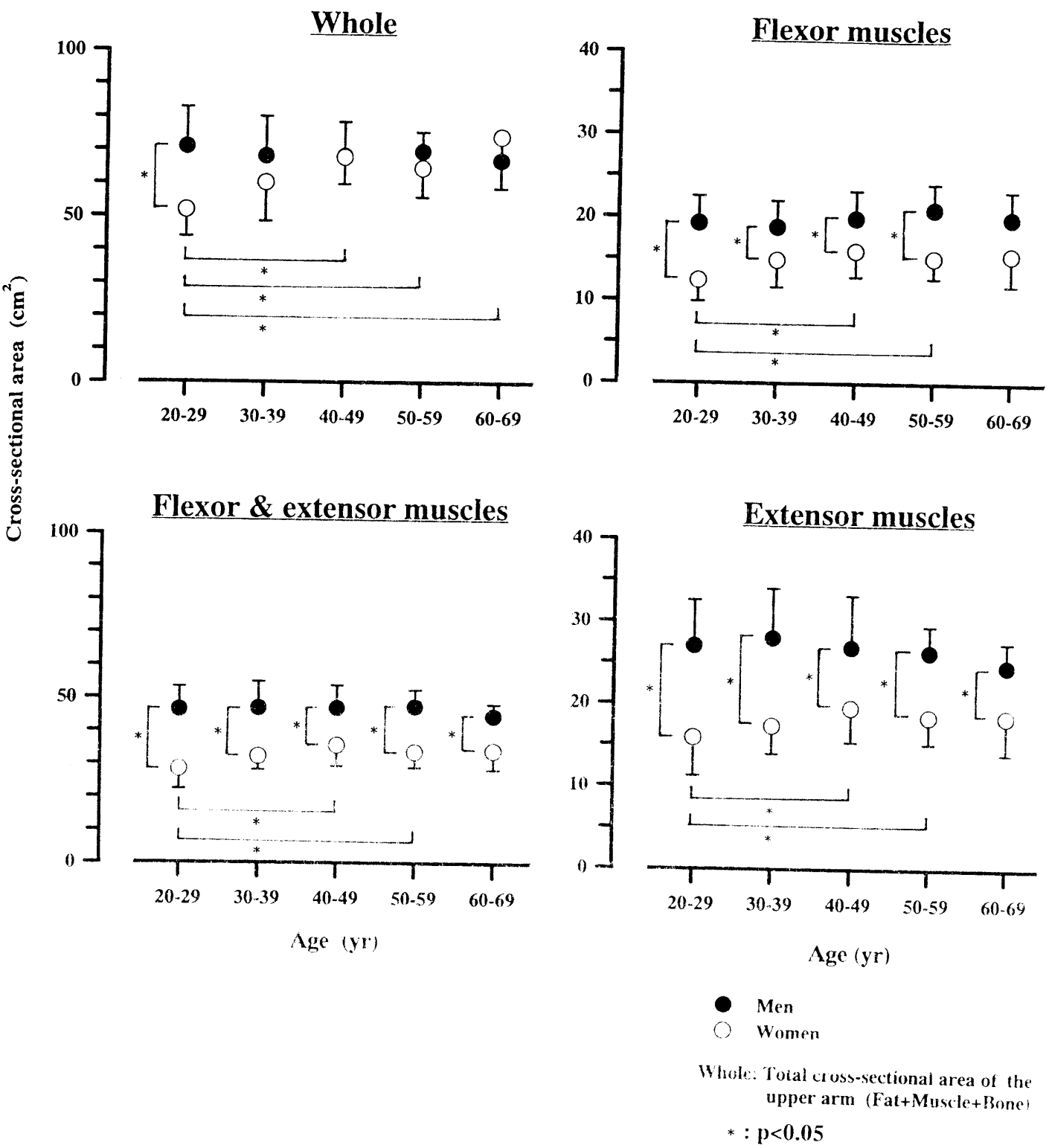

Fig. 4-3 Relationship between age and each area of the upper arm in men and women.

より有意に小さく，女性においては 20 歳代(126.3±20.2N)が 50 歳代(147.5±24.1N)より有意に小さかった。男女間の差はすべての年齢グループでみられ，男性が女性より有意に大きかった。肘関節最大伸展力は，女性では 20 歳代(104.7±19.7N)が 50 歳代(122.0±24.5N)より有意に小さかったが，男性ではどの年齢グループ間にも有意な差はみられなかった。60 歳代を除く 20 歳代～50 歳代において，いずれも男性が女性より有意に大きかった。

4-3-3　肘関節屈曲・伸展最大筋力と上腕部筋群横断面積の関係について

図 4-5 は，被検者全員の肘関節屈曲・伸展最大筋力と上腕部筋群横断面積の関係を示したものである。屈曲力と屈筋群横断面積，伸展力と伸筋群横断面積の相関係数は，それぞれ r=0.736, r=0.767 で有意な正の相関関係がみられた。

表 4-4 および図 4-6 には，筋単位横断面積当たりの筋力の平均と標準偏差を示した。屈筋群における筋単位横断面積当たりの筋力は，男性では 50 歳代(10.2±1.7N/cm^2)および 60 歳代(9.4±1.1N/cm^2)が，30 歳代(13.9±2.5N/cm^2)より有意に小さかったが，女性では各年齢グループ間に有意な差はみられなかった。20 歳代，30 歳代および 40 歳代で男女間に差がみられ，いずれも男性が女性より有意に大きかった。伸筋群における筋単位横断面積当たりの筋力は，男女とも年齢グループ間に有意な差はみられなく，男女差は 20 歳代のみにみられ，男性が女性より有意に大きかった。

Table 4-3. Muscle strength of elbow extensors and flexors.

	Age (yr)	Flexors (N)	Extensors (N)
Men	20-29 (n=64)	223.7±38.7	205.4±38.3
	30-39 (n=10)	257.7±42.8	226.4±46.7
	40-49 (n=13)	232.4±33.0	208.2±42.4
	50-59 (n=8)	212.5±35.7	212.4±53.1
	60-69 (n=7)	189.9±44.2	173.8±48.9
Women	20-29 (n=71)	126.3±20.2	104.7±19.7
	30-39 (n=8)	151.6±19.3	110.7±15.6
	40-49 (n=11)	149.0±36.3	122.5±23.5
	50-59 (n=21)	147.5±24.1	122.0±24.5
	60-69 (n=5)	136.0±12.2	127.2±23.5

Mean±S.D.

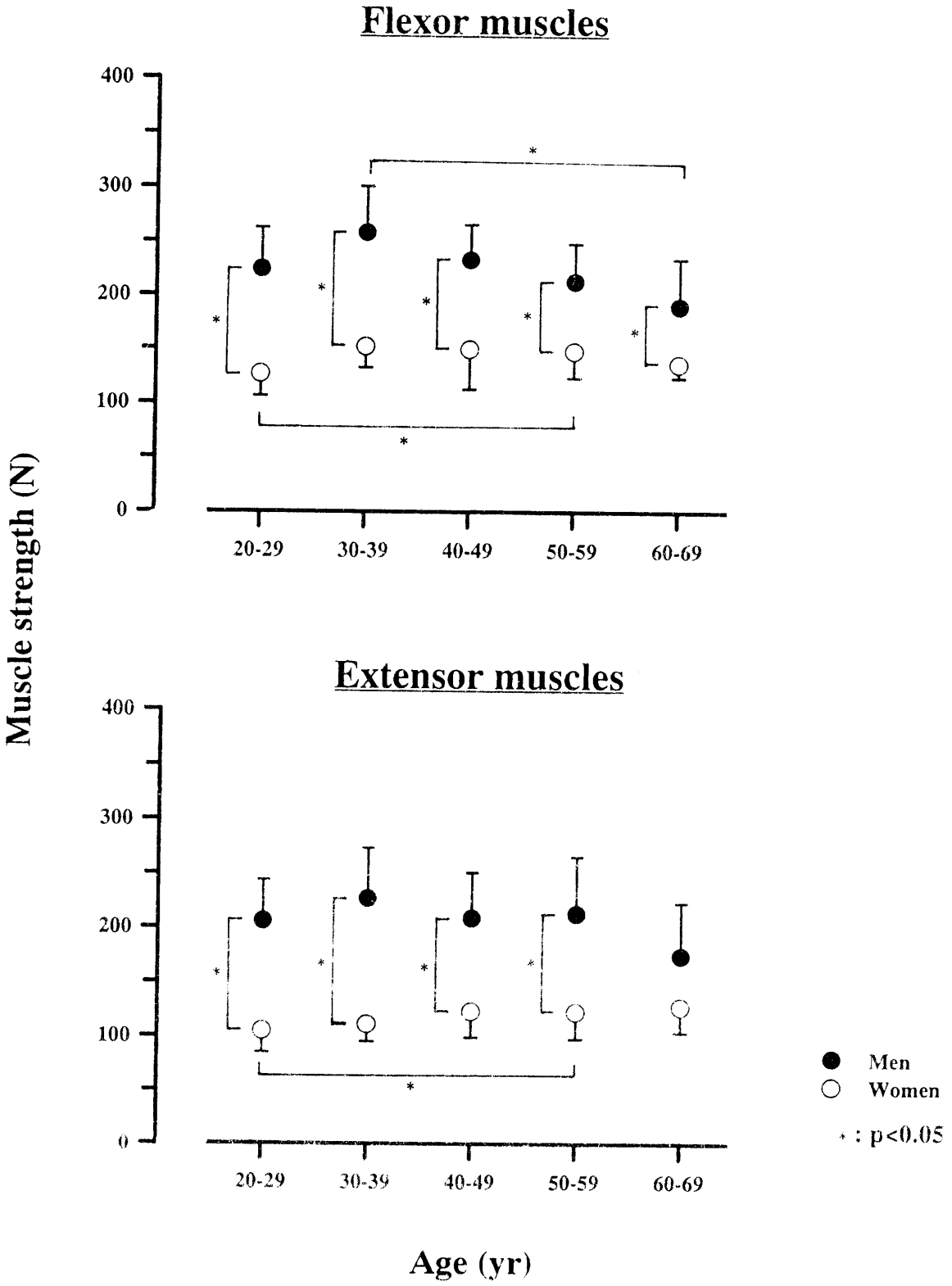

Fig. 4-4 Relationship between age and muscle strength of the elbow extensors and flexors in men and women.

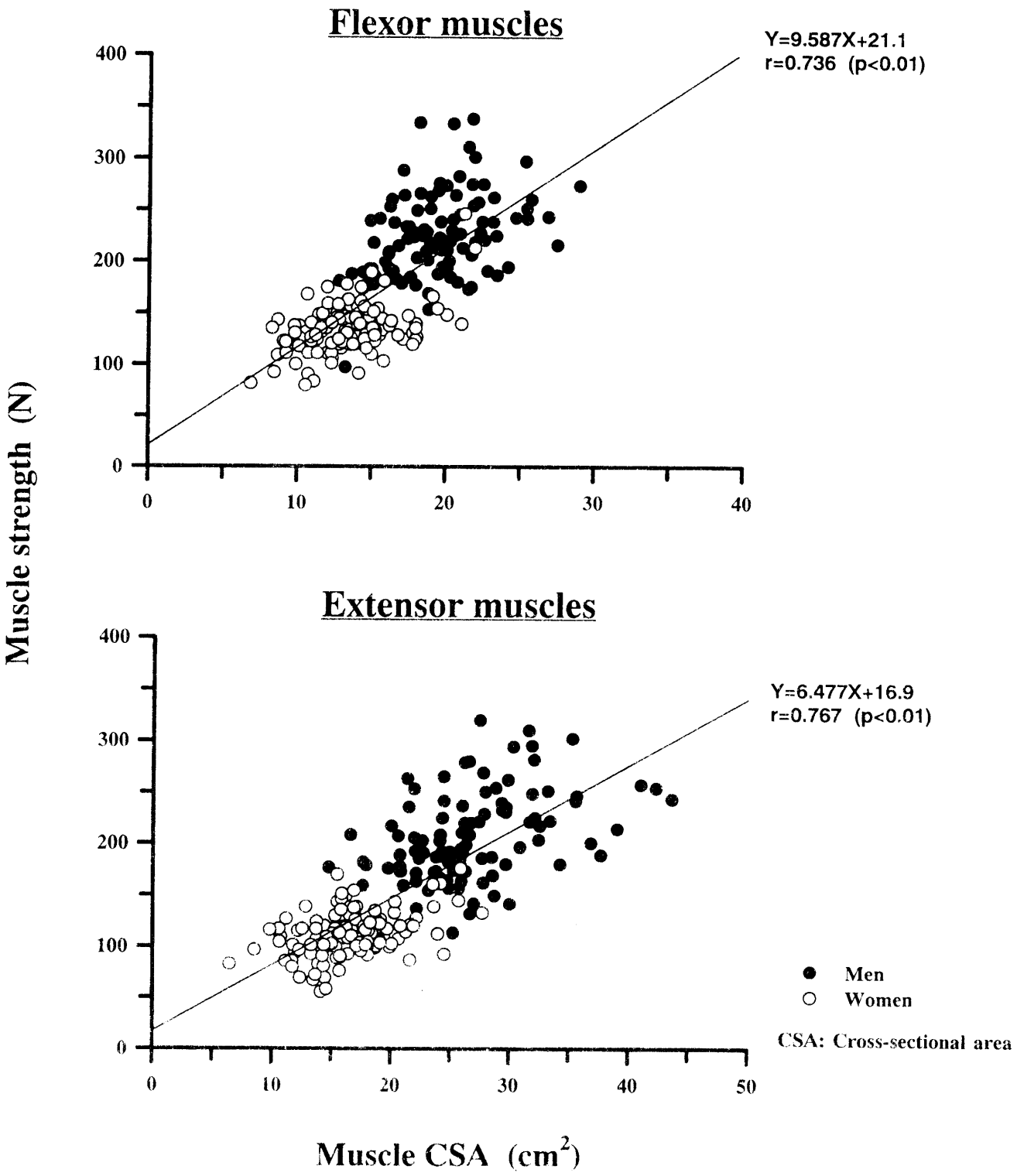

Fig. 4-5 Relationship between muscle strength and muscle CSA of the upper arm in men and women.

Table 4-4. Muscle strength per unit of muscle CSA of elbow extensors and flexors.

	Age (yr)	Extensors (N/cm^2)	Flexors (N/cm^2)
Men	20-29 (n=64)	11.8±2.0	7.7±1.4
	30-39 (n=10)	13.9±2.5	8.2±1.7
	40-49 (n=13)	11.8±2.0	8.1±2.4
	50-59 (n=8)	10.2±1.7	8.0±1.6
	60-69 (n=7)	9.4±1.1	7.3±2.7
Women	20-29 (n=71)	10.5±2.1	7.0±1.8
	30-39 (n=8)	10.7±2.8	6.6±1.8
	40-49 (n=11)	9.5±2.1	6.4±1.3
	50-59 (n=21)	9.9±1.8	6.8±1.7
	60-69 (n=5)	9.0±1.7	7.1±1.7

Mean±S.D.

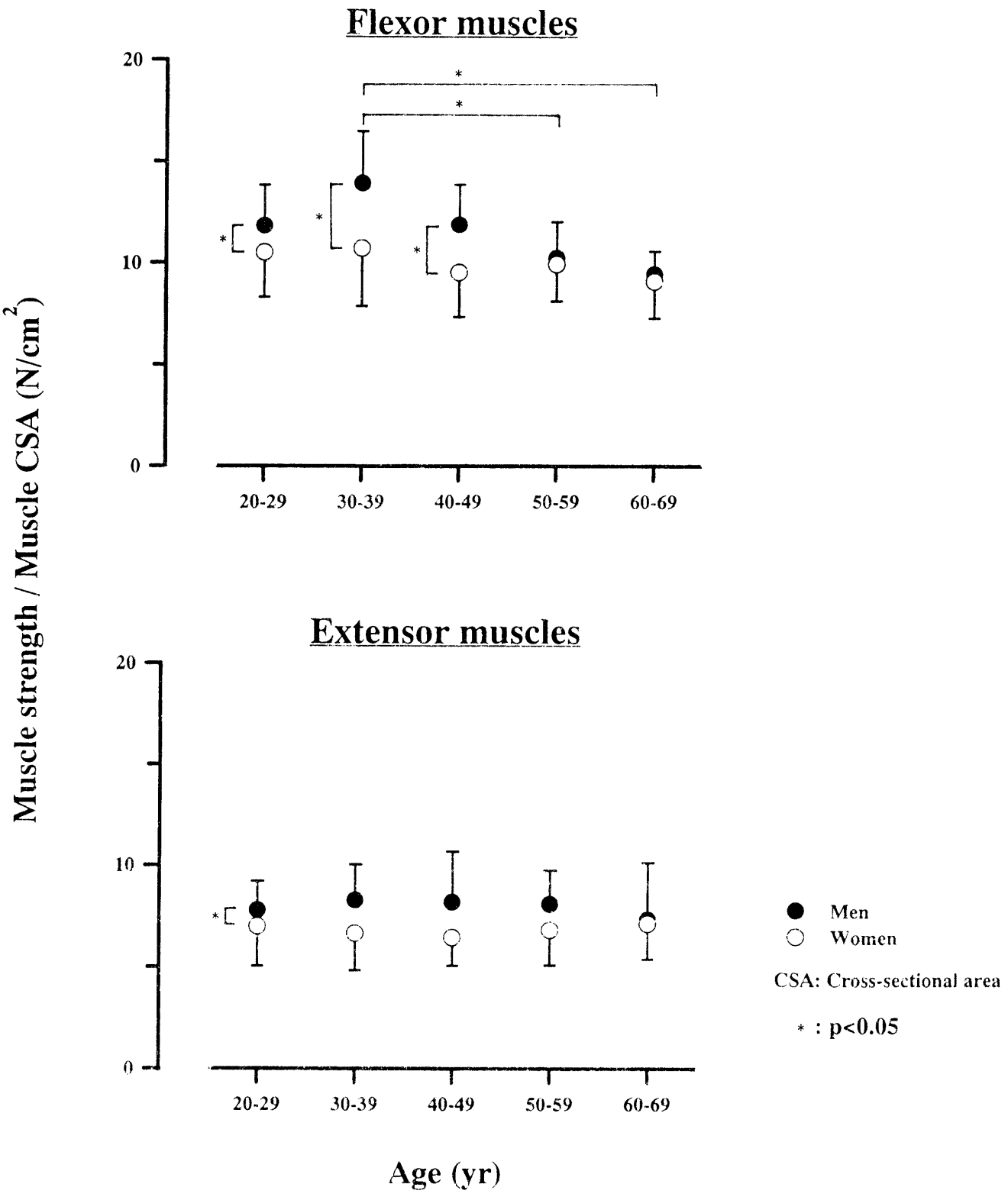

Fig. 4-6 Relationship between age and muscle strength per unit of muscle CSA of the upper arm in men and women.

4-4 考察

4-4-1 上腕部筋群横断面積について

本研究と同じ超音波法を用いた福永と金久[27]の上腕部筋群横断面積の加齢による変化に関する研究において，男性は 20 歳代から 50 歳代までの間では筋横断面積の加齢による影響は認められないが，女性では 25～30 歳をピークにそれ以後しだいに減少していくと報告している。本研究においては，男性は 50 歳代までは年齢による変化はみられず，福永と金久[27]の結果とほぼ一致していたが，女性は 20 歳代が最も低い値を示し，40 歳代，50 歳代の方が大きい値を示した。本来なら加齢とともに減少傾向を示すと考えられる筋横断面積が，女性の上腕部においては中高年者の方が大きいという結果であった。1968 年に Ikai & Fukunaga[8]によって発表された超音波法による 20 歳女性の上腕屈筋群横断面積は，平均 14.5cm^2(n=14)である。それに対して本研究の被検者は，平均 12.2 cm^2(n=71)であり平均で 2.3cm^2も小さかった。この両者の差は，おそらく 30 年前と現在の 20 歳代女性における生活行動の違いなどが影響しているものと推測されるが，両研究とも生活習慣については調査していないのでその理由については考察できなかった。Ikai & Fukunaga[8]の発表は約 30 年前なので，その対象となった被検者は現在，50 歳代になっている。そこで，本研究における 50 歳代(15.0±2.3cm^2)と比較してみるとほとんど差はみられず，この点を考慮すると男性に限らず女性も上腕部筋群は，50 歳代までは加齢による変化は示さないのではないかと推察される。

4-4-2　肘関節屈曲・伸展最大筋力について

Boltimore　Longitudinal Study of Aging において Metter et al.[6]は，男性は 1～25 年間，女性は 1～8 年間にわたって上肢の筋力に関する縦断的な資料を収集し，その結果を報告している。それによると筋力は男女とも 40 歳頃から低下が始まるという。本研究においては，男性における肘関節最大屈曲力は 30 歳代が最も高く，有意な差は 60 歳代との間にしかみられなかったが，40 歳代以降は低下する傾向を示し，先行研究を支持する結果であった。また，女性の肘関節最大屈曲力は 20 歳代が最も低く，30 歳代から 50 歳代まではほぼ同じ値を示し，60 歳代からやや低下傾向を示すといった結果で，Metter et al.[6]とは異なるものであった。これまで筋力は 20 歳代が最も高いとされてきたが，本研究における 20 歳代の肘関節最大屈曲力は男女ともその値が低かったので，上腕屈筋群横断面積と同様に Ikai & Fukunaga[8]のデータとの比較を試みた。30 年前の 20 歳代の肘関節最大屈曲力は，男性 268.5±50.9N，女性 178.3±25.4N で，本研究の男性 223.7±38.7N，女性 126.3±20.2N より，男女とも 30 年前の 20 歳代の方が高く，仮に本研究の結果を 20 歳代のみ Ikai & Fukunag[8]のデータと差し替えてプロットすると先行研究とまったく同じ傾向を示すこととなる。横断的資料を用いて筋力などの加齢変化を検討しようとすると，各年齢層の生活背景などの違いから加齢変化を正確にとらえるには限界がある。本研究においてもその点については否定できない部分もあるが，本研究から得られた結果は，現在の日本人成人が有する筋力の実体をある程度とらえていると考えてもよいのではな

いだろうか。

4-4-3　肘関節屈曲・伸展最大筋力と上腕部筋群横断面積の関係について

肘関節屈曲・伸展最大筋力と上腕部屈筋群・伸筋群横断面積の関係は，共に有意な相関関係が認められ，屈曲・伸展の回帰直線をみるとそれぞれ Y=9.587X+21.1(X; 筋横断面積(cm^2)，Y; 筋力(N))，Y=6.477X+16.9 でほぼ原点付近を通るものであった。上腕部においても大腿部と同様に肘関節屈曲・伸展最大筋力は，高い確率で筋力を発揮させた筋群横断面積によって説明されることが示された。本研究では，対象者が 60 歳代までであったが，もし上腕部における最大筋力と筋横断面積との関係が 70 歳以上でも 60 歳代までと同じ関係であるとするならば，骨粗鬆症などで筋力測定が困難な高齢者も筋横断面積を測定するだけで筋力の推定が可能となり，リハビリテーションなど高齢者を対象とした分野において重要な情報となることが期待されるので，今後，この点に関して明らかにしていく必要があると思われる。

Klitgaard et al.[32] は，60 歳代と 20 歳代男性を対象に行った肘関節屈曲力と上腕二頭筋横断面積の関係の研究で，肘関節屈曲力は 60 歳代が 20 歳代よりも 32%低下しているにもかかわらず，上腕二頭筋横断面積は 20%の減少にすぎず，したがって筋単位横断面積当たりの筋力は 14%低下したと報告している。本研究では，筋単位横断面積当たりの筋力は男性において 30 歳代が最も高い値を示したが，Klitgaard et al.[32]の研究と同様に男性の 60 歳代と 20 歳代を比較する

と，60 歳代が 20 歳代より 20%低く，ほぼ同程度の低下がみられたが，伸筋群（上腕三頭筋）では，60 歳代と 20 歳代ではほぼ同じ値であった。すなわち，男性の上腕部では，屈筋群においては筋量よりも筋力の方が相対的に低下の程度が大きく，それに対し，屈筋群は筋量と筋力がほぼ同じ程度で低下していくことを示している。

このことより，伸筋群の加齢に伴う筋力低下は，筋量の減少が主な原因であると考えられるが，屈筋群は，筋量低下のほかにも原因が存在するものと思われる。おそらく中高年者の加齢に伴う筋力低下は，筋量減少に加えて運動単位の減少や，神経回路に繰り返しインパルスが通るとインパルスがその回路をより通しやすくする強縮刺激後増強（PTP: Post-tetanic potentiation）という現象があるが，日常生活における身体活動量の減少によって神経回路にインパルスの通る回数が減ることで，強縮刺激後増強とは逆にインパルスが通りにくくなることもあると思われ，このような神経性の因子も原因になっているのではないかと推察される。

上腕部筋群を使う動作は，物を持ったり，保持したりすることが多く，この場合に主に筋力を発揮する側は伸筋群よりはむしろ屈筋群で，日常生活における上腕部筋群の運動は量・強度とも伸筋群より屈筋群の方が優っていることが考えられる。加齢に伴う身体活動量の減少は筋力低下に影響を及ぼしていると報告されているように [33,34]，本研究の対象者の身体活動量も 20 歳代より 60 歳代の方が減少していることが予想され，屈筋群の運動量は 60 歳代と 20 歳代で

はその差が大きくなっているものと推察される。それに比較して，もともと日常生活においてそれほどは使われていないと考えられる伸筋群は両年齢グループ間にそれほどの運動量の差は生じないものと思われる。したがって加齢に伴う屈筋群と伸筋群における筋単位横断面積当たりの筋力の変化の相違は，両筋群の活動頻度の違いから生じると考えられる日常の運動量の差が，その主な原因の一つではないかと思われる。

また，男女ともすべての年齢グループにおいて筋単位横断面積当たりの筋力は伸筋群より屈筋群の方が大きかった。屈筋群の筋単位横断面積当たりの筋力を求めるために測定した肘関節屈曲最大筋力には，上腕部屈筋群の筋力だけではなく，腕橈骨筋や長橈側手根伸筋の筋力が約 30%程度含まれているといういくつかの報告[35,36]があり，上腕部屈筋群の筋力を過大評価したことが原因であると考えられる。そこで，本研究で求められた屈筋群の筋単位横断面積当たりの筋力を 30%減じたところ，男女すべての年齢グループにおいて屈筋群と伸筋群の筋単位横断面積当たりの筋力はほぼ同じ値となった。

4-4-4　筋単位横断面積当たりの筋力の上腕部筋群と大腿部筋群の比較

筋単位横断面積当たりの筋力は，男女ともどの年齢グループも上腕部では伸筋群（上腕三頭筋）より屈筋群（上腕二頭筋＋上腕筋）の方が大きく，大腿部では屈筋群（本研究の場合は，ハムストリングス＋内転筋群）より伸筋群（大腿四頭筋）の方が大きかった。前述のように，肘関節屈曲力においては上腕部

屈筋群の筋力に加えて，腕橈骨筋や長橈側手根伸筋の筋力が約 30%含まれていたこと，また，膝関節屈筋群においてはハムストリングスと内転筋群を判別することができなかったために，膝関節屈筋群の筋単位横断面積当たりの筋力を求める際に，膝関節屈曲力をハムストリングスに内転筋群を加えた横断面積で除したことが原因であると考えられる。そこで，肘関節屈筋群は本研究により求められた筋単位横断面積当たりの筋力を 30%減じ，また，膝関節屈筋群は MRI を用いた先行研究の大腿四頭筋とハムストリングスの横断面積比 [16]を使ってハムストリングスの横断面積を推定し，膝関節屈筋群の筋単位横断面積当たりの筋力を求めたところ，20 歳代男性では，肘関節屈筋群が 8.2N/cm^2，肘関節伸筋群が 7.7 N/cm^2，膝関節伸筋群が 7.8 N/cm^2，膝関節屈筋群が 7.9 N/cm^2 ですべての筋群がほぼ同じ値を示した。高齢者の膝関節屈筋群横断面積の推定に 20 歳代男性の大腿四頭筋とハムストリングスの横断面積比を用いることは多少問題はあるが 60 歳代男女についても算出を試みた。その結果，60 歳代男性は，それぞれ 6.5 N/cm^2，7.3 N/cm^2，7.1 N/cm^2，6.4 N/cm^2 であった。60 歳代女性は同様にそれぞれ 6.3 N/cm^2，7.1 N/cm^2，7.3 N/cm^2，6.7 N/cm^2 であった。これらの結果より，60 歳までは男女とも体肢筋群における筋単位横断面積当たりの筋力はどの筋群も同じ程度である可能性が示された。また，若者には性差がみられるが加齢に伴いその差は小さくなり，高齢者では性差がなかった。

本研究で筋単位横断面積当たりの筋力を求めるために用いた筋横断面積は解剖学的横断面積であり，より正確な筋単位横断面積当たりの筋力の算出には筋

繊維に対して直角な横断面の面積，すなわち生理学的横断面積を測定する必要がある。しかし，生理学的横断面積の測定は極めて難しく，本研究のように集団を対象とするような研究においては簡便に測定ができることも大切な要素なので解剖学的横断面積を用いてもそれほど問題はないと考えている。

本研究では健常者を対象に随意等尺性最大筋力を測定したが，随意等尺性最大筋力の測定は関節などに相当な負担がかかるため，高齢者や骨粗鬆症患者などに測定を実施することは非常に危険である。このような場合，筋横断面積から筋力を推定する方法が有効な手段となり得ることが考えられる。本研究の結果から肘関節屈曲・伸展力および膝関節伸展・屈曲力は，筋力を発揮させた筋群の横断面積によって高い確率で説明されることが明らかになったように筋横断面積情報を用いた筋力の推定は可能であると考えられる。しかしながら，推定法の開発には性差，年齢差などを十分考慮することが必要なので，この点に関しては今後の課題にしていきたいと考えている。

また，本研究においては 20 歳代男女の筋横断面積や筋力が先行研究の結果 [8] よりやや小さい値を示した。福永と金久 [27]は，1970 年代と 1980 年代の 20 歳代男女の身体組成を比較しており，その中で身長の伸びに応じた除脂肪組織の発達がもたらされていないことを示唆しており，部位は上腕であるが，組織横断面積も低下傾向にあることを指摘している。また，本研究における 20 歳代の膝関節最大伸展力は東京都立大学体育学研究室 [37]より発表されているデータより男性で約 14%，女性で約 30%低かった。

第5章　まとめ

本研究は，フィールド調査においても体肢の完全な横断面画像が撮影できるシステムを開発し，日本人成人男女における大腿部および上腕部の横断面画像の撮影と膝関節・肘関節の伸展・屈曲における等尺性最大筋力測定のフィールド調査を行い，加齢に伴う大腿部および上腕部筋群横断面積と筋力の変化について検討した。調査は平成 8 年 8 月から平成 10 年 8 月の間に，広島県，福岡県および宮崎県の 3 県のボランティア集団 7 団体を対象に行い，実施場所はそれぞれの団体が居住する地域の集会所などであった。被検者の総数は男女 508 名で，年齢は 20～69 歳であった。得られた結果は以下の通りである。

Ⅰ．超音波体肢横断面画像撮影システムの開発

1) 市販の超音波診断装置を用いて体肢の完全な横断面画像の撮影が可能な超音波体肢横断面画像撮影システムの開発を行った。

2) 本研究で開発した超音波体肢横断面画像撮影システムによって，これまで CT 法や MRI 法などのように高価で，しかも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が，比較的安価で簡便に入手することが可能となった。

3) 同一被検者の同じ部位を 1 日以上の間隔を置いて 2 度撮影し，皮下脂肪，筋および骨の各組織横断面積測定の再現性について検討を行ったところ，1 回目

と 2 回目の各組織における横断面積の相関係数は，皮下脂肪が r=0.966，筋が r=0.985，骨が r=0.957 と非常に高く，1 回目と 2 回目の計測値はほぼ一致した。

4) 本システムと MRI で体肢の同じ部位を同一日に撮影し，各組織横断面積について検討したところ，本システムより得られた各組織横断面積は平均で約 7% 大きかったが，大腿部全横断面積に対する各組織横断面積の比率において，本システムと MRI の差は，皮下脂肪で 0.97%，筋で 1.00%，骨で 0.08%と両者はほぼ一致していた。

5) 本撮影装置は，軽量でコンパクトに作製されているため，可搬性があり，測定も短時間で行うことができるので，本研究のようにフィールドで展開されるような集団を対象とした調査的な研究には有効であり，また，より広範囲な集団における体肢横断面情報の収集が可能となり，今後，体肢組成のデータの蓄積とそれに基づく現代の日本人の基準値といった新たなデータベースの構築が期待される。

Ⅱ．日本人成人における大腿部筋群横断面積と筋力の年齢変化について

1) 膝関節伸筋群横断面積は，男女とも 60 歳代で減少する傾向を示した。膝関節屈筋群横断面積は，男性は 60 歳代までは加齢による変化はほとんどみられなかったが，女性は 20 歳代が最も小さく，その他の年齢グループはほぼ同じだった。

2) 膝関節最大伸展力において男性は，60 歳代で低下がみられたが，女性は年齢による変化はみられなかった。また，膝関節最大屈曲力において男性は 40 歳代から緩やかに減少する傾向がみられた。

3) 男性の大腿部伸筋群・屈筋群における筋単位横断面積当たりの筋力は 40 歳代頃から低下が始まることが示された。女性は伸筋群において 20 歳代，30 歳代がやや小さく 40 歳代から 60 歳代までは変化しなかったが，屈筋群においては加齢とともに低下する傾向がみられた。

Ⅲ．日本人成人における上腕部筋群横断面積と筋力の年齢変化について

1) 肘関節屈筋群および伸筋群横断面積において，女性は 20 歳代が 40 歳代，50 歳代がより有意に小さかったが，男性は年齢グループ間に有意差はみられなかった。

2) 肘関節最大屈曲力では，男性において 60 歳代が 30 歳代より有意に小さく，女性においては 20 歳代が 50 歳代より有意に小さかった。肘関節最大伸展力は，女性では 20 歳代が 50 歳代より有意に小さかったが，男性ではどの年齢グループ間にも有意な差はみられなかった。

3) 上腕部屈筋群における筋単位横断面積当たりの筋力は，男性では 50 歳代および 60 歳代が，30 歳代より有意に小さかったが，女性では各年齢グループ間に有意な差はみられなかった。上腕部伸筋群における筋単位横断面積当たりの筋力は，男女とも年齢グループ間に有意な差はみられなかった。

4) 60 歳代までは男女とも肘関節屈筋群，肘関節伸筋群，膝関節伸筋群および膝関節屈筋群のすべての筋群が同じ程度の筋単位横断面積当たりの筋力を有する可能性が示された。

本研究の結果より，本邦の男性においてはすでに 50 歳代頃から筋の構造・機能の低下が始まる可能性が示されたが，女性は 60 歳代まで大きな変化は認められなかった。今後は，高齢者のみならず，高齢者予備軍である中年者（特に男性）にも筋機能低下防止のための運動処方を示すことが必要であり，そのことが将来にわたって高齢者の自立した日常生活獲得に貢献するものと考えている。

また，今日の本邦においては急激な高齢化のために中高年者の体力レベルの把握が特に重要視されてきたが，これからは 10 歳代，20 歳代の若者の体力レベルにも十分な注意を払う必要があるものと思われる。

参考文献

1) 種田行男，荒尾　孝，西嶋洋子，北畠義典，永松俊哉，一木昭男，江橋　博，前田　明．高齢者の身体的活動能力（生活体力）の測定法の開発，日本公衛誌，(1996), 43, 196-207.

2) 種田行男．高齢者の生活体力評価，高齢者の活動能力評価についての研究会編．鳥取研究集会（日本公衆衛生学会総会）報告書．(1995), 13-24.

3) Larsson, L. Morphological and functional characteristics of the aging skeletal muscle in man. Acta. Physiol. Scand. Suppl. (1978), 457, 1-36.

4) Calmels, P., Vico, L., Alexandre, C. and Minaire, P. 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 menopouse. Eur. J. Appl. Physiol. (1995), 70, 180-186.

5) Stanley, S. N. and Taylor, N. A. Isokinematic muscle mechanics in four groups of women of increasing age. Eur. J. Appl. Physiol. (1993), 66, 178-184.

6) Metter, E. J., Conwit, R., Tobin, J. and Fozard, J. L. Age-assosiated loss of power and strength in the upper extremities in women and men. J. Gerontol. (1997), 52A, B267-B276.

7) Lexell, J., Taylor, C.C. and Sjiostrom, M. What is the cause of the aging atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men. J. Neurol. Sci. (1988), 84, 275-294.

8) Ikai, M. and Fukunaga, T. Caluculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. Int. Z. Angew. Physiol. (1968), 26, 26-32.

9) Brown, A. B., McCartney, N. and Sale, D.G. Positive adaptations to weight-lifting training in the elderly. J. Appl. Physiol. (1990), 69, 1725-1733.

10) Roman, W.J., Fleckenstein, J., Stray-Gundersen, J., Alway, S.E., Peshock, R. and Gonyea, W.J. Adaptations in the elbow flexors of elderly males after heavey-resistance trainig. J. Appl. Physiol. (1993), 74, 750-754.

11) Welle, S., Totterman, S. and Thornton, C. Effect of age on muscle hypertrophy induced by resistance training. J. Gerontol. (1996), 51A, M270-M275.

12) Frontera, W.R., Meredith, C.N., O'reilly, K.P., Knuttgen, H.G. and Evans, W.J. Strength conditioning in older men skeletal muscle hypertrophy and improved function. J. Appl. Physiol. (1988), 64, 1038-1044.

13) Charette, S.L., McEvoy, L., Pyka, G., Snow-Harter, C., Guido, D., Wiswell, R.A. and Marcus, R. Muscle hypertrophy response to resistance training in older women. J. Appl. Physiol. (1991), 70, 1912-1916.

14) Young A., Stokes M. and Crowe, M. Size and strength of the quadriceps muscles of old and young women. Eur. J. Clin. Invest. (1984), 14, 282-287.

15) Young A., Stokes M. and Crowe, M. The size and strength of the quadriceps muscles of old and young men. Clin. Physiol. (1985), 5, 145-154.

16) Overend, T. J., Cunningham, D. A., Kramer, J. F., Lefcoe, M. S. and Paterson, D. H. Knee extensor and knee flexor strength: Cross-sectional area ratios in young and elderly men. J. Gerontol. (1992), 47, M204-M210.

17) Weiss, L. W. and Clark, F.C. The use of B-mode ultrasound for measuring subcutaneous fat thickness on the upper arms, Res. Quarterly Exerc. Sport, (1985), 56, 77-81.

18) 石田良恵, 角田直也, 金久博昭, 福永哲夫.超音波皮脂厚計の検討,体力科学, (1985), 34, 91-97.

19) 湯浅景元, 福永哲夫. Bモード超音波による皮下脂肪測定の正確度,体力科学, (1987), 36, 31-35.

20) Maughan, R.J., Watson, J.S., and Weir, J. Relationship between muscle strength and muscle cross-sectional area in male sprinters and endurance runners. Eur. J. Appl. Physiol., (1983), 50, 309-318.

21) Hounsfield, G. N. Computerized transverse axial scanning (tomography). Part Ⅰ. Deacription of system. Brit. J. Radiol. (1973), 46, 1016-1022.

22) Hudash, G., Albright, J.P., Mcauley, E., Martin, R.K., and Fulton, M. Cross-sectional thigh components: computerized tomographic assessment. Med. Sci. Sports Exerc. (1985), 17, 417-421.

23) Fukunaga, T., Roy, R.R., Shellock, F.G., Hodgson, J.A., Day, M.K., Lee, P.L., Kwong-Fu, H. and Edgerton, V.R. Physiological cross-sectional area of human leg

muscles based on magnetic resonance imaging. J. Othop. Res., (1992), 10, 926-934.

24) 久野譜也. MRI によるトップアスリートの軟部組織, 整形外科, (1995), 46, 983-989.

25) 福永哲夫. ヒトの絶対筋力, 杏林書院, 東京, (1978).

26) 沼原利彦,小島清嗣：医学・生物学のための画像解析ハンドブック実践 NIH Image 講座, 羊土社, 東京, (1995).

27) 福永哲夫, 金久博昭. 日本人の体肢組成. 朝倉書店, 東京, (1990).

28) 佐藤広徳, 福田　修, 辻　敏夫, 三浦　朗, 久野譜也, 佐藤陽彦, 福場良之. 超音波体肢横断面画像撮影システムの開発. 人間工学, (1998), 34(5), 255-260.

29) 安部　孝, 福永哲夫. 日本人の体脂肪と筋肉分布. 杏林書院, 東京, (1995).

30)Moritani T. and deVries H. A. Potential for gross muscle hypertrophy in older men. J. Gerontol. (1980), 35, 672-682.

31) Brown, W. F., Methods for estimating numbers of motor units in biceps-brachialis muscles and losses of motor units with aging. Muscle Nerve (1988), 11, 423-432.

32)Klitgaard, H., Mantoni, M., Schiaffino, S., Ausoni, S., Gorza, L., Laurent-Winter, C., Schnohr, P. and Saltin, B. Function, morphology and protein expression of ageing skeletal muscle: a cross-sectional study of elderly men with different training backgrounds. Acta. Physiol. Scand. (1990), 140, 41-54.

33) Aniansson, A., Grimby, G., Hedberg, M. and Krotkiewski. Muscle morphology, enzyme activity and muscle strength in elderly men and women. Clin. Physiol. (1981), 1,

73-86

34) Grimby, G. and Saltin, B. Yhe ageing muscle. Clin. Physiol. (1983), 3 ,209-218.

35) Wilkie, D. R. The relation between force and velocity in human muscle. J. Physiol. (1950), 110, 249-280.

36) Jorgensen, K. Force-velocity relationship in human elbow flexors and extensors. In: Biomechanics VA, University Park Press, Baltimore. (1976), 145-151.

37) 東京都立大学体育学研究室編．日本人の体力標準値第 4 版．不昧堂出版，東京，(1989).

謝辞　稿を終わるにあたり，終始ご指導・ご助言いただいた九州芸術工科大学芸術工学部人間工学教室・佐藤陽彦教授，広島女子大学生活科学部健康スポーツ学科・福場良之助教授ならびに三浦朗講師，本研究の調査を実施するにあたって多大な協力をしていただいた正信会水戸病院副院長の増田住博先生，佐藤美紀子作業療法士，ひろしま社会保険センターの小田典子先生，三鼓秀夫先生，向井良文先生および広島工業大学工学部電子工学科佐藤研究室，広島女子大学生活科学部健康スポーツ学科福場研究室・三浦研究室の卒業生，学生の皆様に心より感謝申し上げます。