

B モード超音波法を用いた 2 つの筋厚測定方法の比較  
Comparison of two methods of measuring muscle thickness  
using B-mode ultrasonography

千野 謙太郎<sup>1</sup>, 高橋 英幸<sup>2</sup>, 若原 卓<sup>3</sup>, 平野 裕一<sup>2</sup>

要 旨

先行研究の測定方法（従来法）および国立スポーツ科学センターのフィットネスチェックで用いられている方法（JISS 法）に従って、B モード超音波法による上腕前部および大腿後部の筋厚測定を行った。上腕前部の測定に関しては、前腕回外位（従来法）と中間位（JISS 法）で測定された筋厚の値に有意差がみられなかった。一方、大腿後部の測定では、筋と大腿骨の境界（従来法）よりも大内転筋または長内転筋と内側広筋の境界（JISS 法）を深部の境界とした方が筋厚を有意に高く評価することが明らかになった。さらに、大腿後部の筋厚測定における被検筋を MRI 法によって確認したところ、従来法と JISS 法では被検筋も異なっていた。

Key words: B モード超音波法, MRI 法, 肘関節屈曲筋群, ハムストリングス,  
股関節内転筋群

<sup>1</sup> 東京大学大学院, <sup>2</sup> 国立スポーツ科学センター, <sup>3</sup> 早稲田大学スポーツ科学学術院

東京大学大学院

〒153-8902 東京都目黒区駒場 3-8-1

TEL 03-5454-6133

FAX 03-5454-4317

E-mail chinokentaro@idaten.c.u-tokyo.ac.jp

受付日：2009 年 8 月 4 日

受理日：2010 年 2 月 9 日

## 1. 背景

筋組織の厚さ、すなわち筋厚と筋横断面積や筋体積の間には有意な相関がみられる<sup>1, 2)</sup>ことから、筋厚を筋横断面積や筋体積の指標とみなすことができる。筋厚の測定に用いられる組織断層撮影法の中でも B モード超音波法は、X 線などへの被曝がなく低侵襲な測定法であり、かつ経済的で簡便な測定法であることから、CT スキャン法や MRI 法に比べて多人数の被検者を対象とした測定に適した方法である。そこで、国立スポーツ科学センター (JISS) におけるフィットネスチェックでは、超音波法を用いた筋厚の測定が全身 9 部位 (前腕部、上腕前部および後部、大腿前部および後部、下腿前部および後部、腹部、肩甲骨下部) に行われている。筋厚の測定位置および計測方法は基本的に先行研究<sup>3, 4)</sup>に従ったものであるが、上腕前部および大腿後部の筋厚測定に関しては先行研究と異なる JISS 特有の方法を用いている。

先行研究における上腕前部の筋厚測定が、前腕を 90°回外して手掌を前方に向けた解剖学的立位姿勢で行われているのに対して、JISS のフィットネスチェックにおける上腕前部の筋厚測定は、上肢を下垂して手掌を体側に向けた基本的立位姿勢で行われている (図 1)。身体運動を記載する際の開始姿勢は、一般的に解剖学的立位姿勢が用いられる<sup>5)</sup>ことから、先行研究では解剖学的立位姿勢で上腕前部の筋厚測定を行っているものと考えられる。また、超音波法におけるエコー (反射波) が最も強くなるのは超音波が反射面に対して直角に入射したときであるが、先行研究の測定姿勢である前腕回外位では上腕骨の上縁が平らになる (図 1) ことから、筋組織と上腕骨との境界から明瞭なエコーを得ることが容易である。先行研究における上腕前部の筋厚測定は上腕筋および上腕二頭筋を被検筋としている<sup>4)</sup>が、前腕を 90°回外位に保持すると前腕の回外筋である上腕二頭筋には持続的な活動がみられる<sup>6)</sup>。また、上腕前部の筋厚は、筋力発揮によって変化することが報告されている<sup>7)</sup>。これらのことから、前腕回外位で上腕前部の筋厚

測定を行う際には、検者が被検者の手首を保持した上でリラックスするように指示する配慮がなされることがある。ところが、このような配慮は先行研究において明記されたものではないため、すべての検者に対して徹底されたものではない。したがって、先行研究の測定方法において検者が被検者の手首を保持せずに測定を行う場合には、前腕の回外角度および上腕前部の筋厚が、被検者が随意的に調節する上腕二頭筋の活動レベルの影響を受けることとなる。一方、JISS のフィットネスチェックでは上腕前部の筋厚測定を基本的立位姿勢で行うが、前腕を中間位に保持するこの姿勢では上腕筋および上腕二頭筋の活動がみられない<sup>6)</sup>。このことから、JISS のフィットネスチェックで用いられている測定方法では、前腕の回外角度および上腕前部の筋厚が上腕二頭筋の活動レベルの影響を受けることはないと考えられる。基本的立位姿勢で行う上腕前部の筋厚測定にはこのような利点があるものの、この姿勢では上腕骨の上縁が平らにならない (図 1) ことから、筋組織と上腕骨との境界から明瞭なエコーを得ることが比較的難しいという欠点がある。さらに、上腕骨を超音波画像の中央部付近に映し出すには、超音波プローブを上腕と体幹の間に入り込むほど内側に配置しなければならないという欠点も挙げられる。このように、先行研究および JISS のフィットネスチェックで用いられる上腕前部の筋厚の測定方法には、それぞれ異なる長所および短所が存在する。

先行研究における大腿後部の筋厚測定では、大腿後部の筋厚を皮下脂肪組織と筋組織の境界から筋組織と大腿骨の境界までとしている (図 2)。一方、JISS のフィットネスチェックにおける筋厚測定では、深部の境界を筋組織と大腿骨の境界ではなく、大内転筋または長内転筋と内側広筋 (あるいは大内転筋と長内転筋<sup>※)</sup> の筋組織の境界としている (図 2)。超音波法は、生体内に発射された超音波が異なる媒質の境界で反射する性質を利用したものであるが、媒質を伝わって行くうちに超音波は吸収、散乱および拡散されて減衰する。また、反射面に対する超音波の入射角は得られるエコー

強度に影響を及ぼし、入射角が直角のときに最も強いエコーが得られ、入射角が浅くなるとエコー強度は弱くなる。先行研究が深部の境界としている筋組織と大腿骨の境界は、前腕部、上腕前部、上腕後部および大腿前部の筋厚測定において深部の境界としている筋組織と骨の境界よりも深部に位置する。さらに、その境界は半円状で平らな形状をしていないことから、超音波の入射角が直角になる部位はわずかである。したがって、大腿後部の筋厚測定の際に筋組織と大腿骨の境界から明瞭なエコーを得ることは難しく、大腿後部の筋群が発達したトップアスリートを被検者とする場合には難易度がさらに高くなる。一方、JISS のフィットネスチェックにおいて深部の境界としている

大内転筋または長内転筋と内側広筋の境界は、筋組織と大腿骨の境界と同等あるいはそれ以上の深さに位置するものの、その形状が平らであることから明瞭なエコーを得ることが比較的容易である。このことから、トップアスリートを対象として実施される JISS のフィットネスチェックでは、大腿後部の筋厚測定における深部の境界を筋組織と大腿骨の境界ではなく、大内転筋または長内転筋と内側広筋の境界としている。しかしながら、この境界からのエコーを得るためには、先行研究の測定方法よりも内側にプローブを配置する必要があることから、JISS のフィットネスチェックでは先行研究と異なる筋群を対象として大腿後部の筋厚測定を行っている可能性がある。

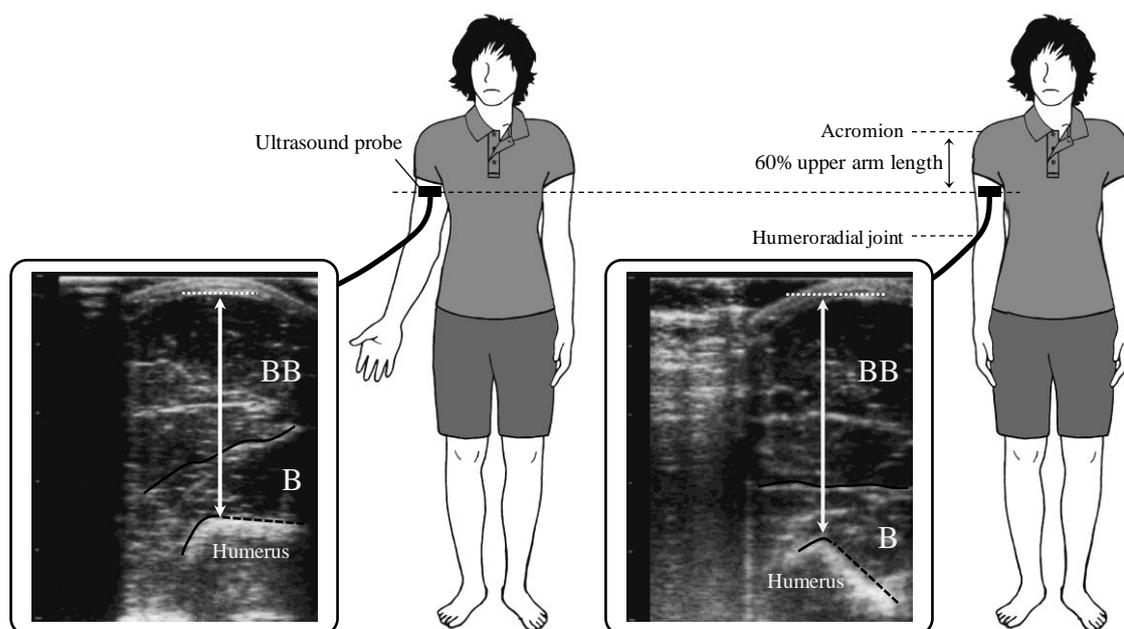


Fig. 1: Experimental setting for measuring the muscle thickness of the anterior upper arm  
Muscle thickness was measured with two different methods. One was a previously reported method (left) while the other was a method modified by the Japan Institute of Sports Sciences (JISS, right). From the ultrasound image, it was confirmed that the brachialis (B) and biceps brachii (BB) were targeted in both methods. The arrows indicate the muscle thickness with each method. The dotted lines along the humerus show the rotation of the humerus with supination of the forearm.

以上のように、先行研究と JISS のフィットネスチェックでは、異なる方法で上腕前部および大腿後部の筋厚測定を行っている。それにも関わらず、両測定方法で計測される筋厚の値や測定の対象となる筋群を実測に基づいて比較した研究は見当たらず、両測定方法は同様の測定とみなされてきた。両測定方法で計測される筋厚の値や被検筋が異なった場合、両測定方法は異なる測定として扱う必要があり、測定の目的に応じて適切な測定方法を選択する必要性が生じてくる。そこで本研究では、先行研究の測定方法（従来法）および JISS のフィットネスチェックの測定方法（JISS 法）で得られ

る筋厚やその再現性を比較するため、両測定方法に従って上腕前部および大腿後部の筋厚を測定した（測定 1）。また、両測定方法における大腿後部の被検筋を明らかにするため、超音波法よりも明瞭な画像を得ることができる MRI 法を用いて大腿部の撮像を行った（測定 2）。

※ 本研究の測定 2 によって、JISS のフィットネスチェックにおける大腿後部の筋厚測定の深部の境界が、大内転筋と長内転筋の境界ではなく、大内転筋または長内転筋と内側広筋の境界であることが明らかになった。

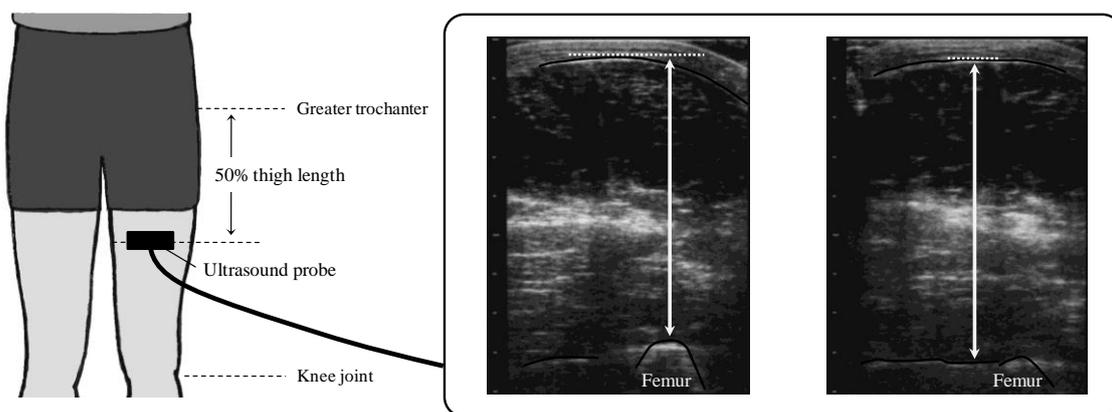


Fig. 2: Experimental setting for measuring the muscle thickness of the posterior thigh

The left ultrasound image was obtained using a previously described method, and the right ultrasound image was obtained using the JISS method. The site for the ultrasound probe with the JISS method was more medial than that for the previous studies. The arrows show the muscle thickness with each method.

## 2. 方法

### [測定 1]

被検者は健常な一般成人男性 50 名（年齢: 23.5±3.2 歳, 身長: 172.2±5.4cm, 身体質量: 68.8±7.7kg, 平均値±標準偏差）であった。測定に先立ち, 各被検者に測定の目的と方法について十分な説明を行い, 測定への参加に対する同意を得た。

従来法<sup>3,4)</sup>および JISS 法に従って, 右側の上腕前部および大腿後部の筋厚を B モード超音波装置 (SSD-900, 7.5MHz 電子リニアプローブ ALOKA 社製) を用いて測定した。上腕前部の筋厚測定における被検者の測定姿勢は, 前腕 90°回外位 (従来法) および中間位 (JISS 法) とした (図 1)。従来法で測定を行う際には, 最小限の筋活動で前腕 90°回外位を保持するよう被検者に指示し, JISS 法で測定を行う際には, 上腕の筋群を完全に弛緩するよう指示した。上腕長 (肩峰から腕橈関節裂隙までの長さ) の近位 60%部位を超音波横断画像の撮像位置とし, 皮下脂肪組織と筋組織の境界から筋組織と上腕骨の境界までの直線距離を上腕前部の筋厚とした (図 1)。一方, 大腿後部の筋厚測定における被検者の測定姿勢は, 両足の内縁間を 20cm に開いた安静立位とし, 両足にかかる体重が均等になるよう注意して立位を保持するよう指示した。大腿長 (大転子から膝関節裂隙) の 50%部位を超音波画像の撮像位置とし, 皮下脂肪組織と筋組織の境界から筋組織と大腿骨の境界 (従来法) および大内転筋または長内転筋と内側広筋の筋組織の境界 (JISS 法) までの直線距離を大腿後部の筋厚とした (図 2)。従来法では, 大腿骨の真上に位置する皮下脂肪組織と筋組織の境界が超音波画像内で水平に撮像できないことが多い。そのような場合には, 超音波画像内で水平に撮像されている内側寄りの皮下脂肪組織と筋組織の境界を大腿骨の真上まで直線外挿し, 筋厚の計測を行った (図 2)。また, 表層部の筋組織を圧迫せずに明瞭な超音波画像を得るため, プローブにエコーゼリーを塗布して超音波画像の撮像を行った。従来法および JISS 法に習熟した 1 名の検者が, 両測定方法に従

った測定を交互に 2 回ずつ行った。得られた 2 回の測定結果から両測定方法における変動係数 (CV)<sup>8)</sup>および級内相関係数 (ICC) を算出し, 両測定方法の再現性を確認した。また, 両測定方法によって得られた筋厚の統計学的有意差 ( $p < 0.05$ ) の有無を明らかにするため, 医学的に無意味な差を統計学的に有意としない $\chi^2$ 検定<sup>9)</sup>を行った。このとき, それぞれの測定方法における筋厚は, 2 回実施した筋厚測定の平均値とした。また, 両測定方法における 2 回の測定値の差をそれぞれの被検者で求め, 得られたすべての値を平均したもの (上腕前部 1.1mm, 大腿後部 1.7mm) を“意味のある最小の差”と定義した。

### [測定 2]

被検者は健常な一般成人男性 5 名 (年齢: 28.8±1.3 歳, 身長: 172.1±5.7cm, 身体質量: 71.0±8.1kg) および女性 5 名 (年齢: 28.4±4.8 歳, 身長: 160.8±5.3cm, 身体質量: 60.7±9.8kg) であった。各被検者に測定の目的と方法について事前に説明を行い, 測定への参加に対する同意を得た。

B モード超音波装置 (SSD-6500, 7.5MHz 電子リニアプローブ ALOKA 社製) を用いて, 右脚の大腿後部の超音波横断画像を取得した。測定方法は基本的に測定 1 と同様であったが, 被検者の測定姿勢を立位ではなく腹臥位とした。また, 被検者の皮膚上に油性ペンを用いて従来法および JISS 法における超音波プローブの中央部を印付けし, その間の距離をメジャーで計測した。

1.5T の超電導 MRI 装置 (Magnetom Symphony, シーメンス社製) を用いて, 右脚の大腿部の MRI 測定を実施した。超音波法による測定と同じレベルの横断画像を取得するため, 被検者の測定姿勢を腹臥位とし, 超音波プローブの中央部を印付けた被検者の皮膚上にマーカーを貼付して撮像を行った。撮像はボディコイルを用いて行い, 撮像シーケンスはスピネコー法とした。撮像条件は, 撮像領域 240×240mm, マトリックス 256×256, スライス厚 10mm, 繰り返し時間 450ms, エコー時間 10ms, 積算 2 回であった。撮像した MRI におけ

る大腿骨，超音波プローブの中央部に対応するマーカーおよび大腿後部の筋群（大腿二頭筋長頭，大腿二頭筋短頭，半腱様筋，半膜様筋，大内転筋，長内転筋，薄筋，縫工筋）をトレースした後，超音波法における計測ラインをMRI上に仮想した（図3）．計測ラインを仮想する際には，超音波画

像における超音波プローブの中央部，筋組織と大腿骨の境界および大内転筋または長内転筋と内側広筋の境界を参考にした（図3）．MRI上に仮想された超音波法の計測ラインに基づいて，従来法およびJISS法の大腿後部の筋厚測定における被検筋を判別した．

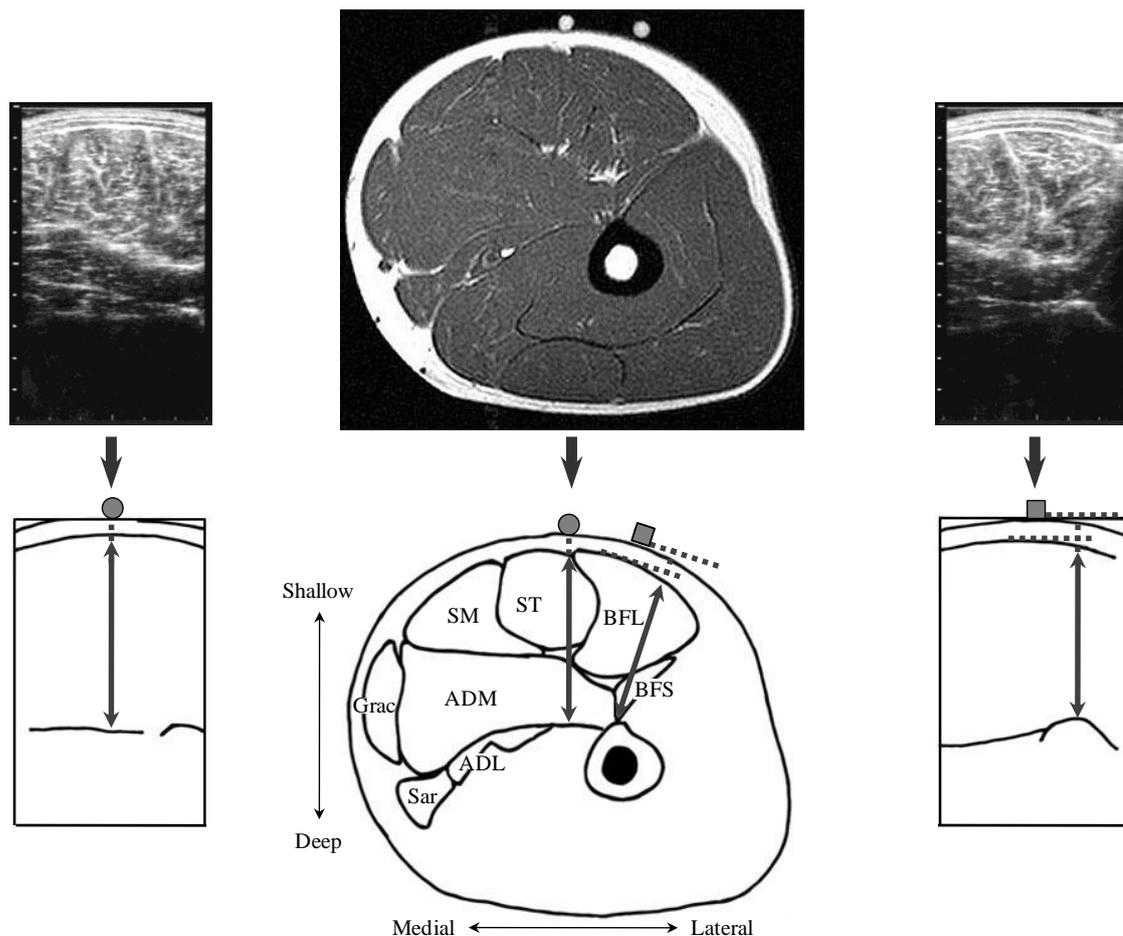


Fig. 3: Typical magnetic resonance image (MRI) of the posterior thigh (middle) and the corresponding ultrasound images (left and right) with corresponding illustrations (bottom)

The left and right ultrasound images were obtained using a previously described method and the JISS method, respectively. The square and circle represent the center of the ultrasound probe during the measurement of muscle thickness in both methods. The long head of biceps femoris (BFL), short head of the biceps femoris (BFS), semitendinosus (ST), semimembranosus (SM), adductor magnus (ADM), adductor longus (ADL), sartorius (Sar), and gracilis (Grac) are illustrated in the MRI image. The sites where muscle thickness was measured by ultrasonography are indicated by the arrows in ultrasound image illustrations and are correspond with the arrows in MRI illustration.

### 3. 結果

#### [測定 1]

従来法および JISS 法に従って撮像した上腕前部および大腿後部の超音波画像を図 1 および図 2 に示した。上腕前部の筋厚測定における被検筋は、どちらの測定方法においても上腕二頭筋および上腕筋であることが確認できた。

上腕前部の筋厚を2回測定したときの CV は、従来法で  $1.9 \pm 1.4\%$  (最大 5.5%), JISS 法で  $2.7 \pm 2.0\%$  (最大 8.8%) であった。一方、大腿後部の筋厚測定における CV は、従来法で  $2.6 \pm 2.1\%$  (最大 10.5%), JISS 法で  $1.1 \pm 1.2\%$  (最大 6.8%) であった。また、上腕前部および大腿後部の筋厚測定における ICC を表 1 に示したが、両測定方法による上腕前部および大腿後部の筋厚測定における ICC は 0.94~0.98 であった。

従来法および JISS 法に従って測定した上腕前部および大腿後部の筋厚を図 4 および図 5 に示した。上腕前部の筋厚は従来法で  $32.5 \pm 3.1\text{mm}$ , JISS 法で  $33.1 \pm 3.2\text{mm}$  であった。測定方法の違いによる筋厚の差は  $1.1 \pm 1.0\text{mm}$  であったが、その差は有意では

なかった。一方、大腿後部の筋厚は、従来法で  $65.4 \pm 6.4\text{mm}$ , JISS 法で  $70.4 \pm 6.1\text{mm}$  であった。測定方法の違いによる筋厚の差は  $5.3 \pm 4.7\text{mm}$  であり、その差は有意 ( $p < 0.05$ ) であった。

#### [測定 2]

JISS 法に従った大腿後部の筋厚測定では、従来法に従った測定に比べて  $3.7 \pm 1.5\text{cm}$  内側に超音波プローブを配置していた。筋厚の測定値は従来法で  $52.6 \pm 4.1\text{mm}$ , JISS 法で  $57.8 \pm 4.7\text{mm}$  であった。2 回の測定結果の差を平均した値 ( $0.9\text{mm}$ ) を“意味のある最小の差”として  $\chi^2$  検定を行ったところ、両測定方法による筋厚の測定値の間には有意差 ( $p < 0.05$ ) がみられた。

従来法および JISS 法における被検筋を判別する際に用いた MRI および超音波画像の典型例を図 3 に示した。MRI に基づいて JISS 法において深部の境界としているエコーを判断すると、大内転筋と長内転筋の境界ではなく大内転筋または長内転筋と内側広筋の境界に由来するものであると考えられた。MRI と超音波画像に基づいて判別した両測定方法における大腿後部の被検筋を表 2 にまとめた。

Table 1: Intraclass correlation in muscle thickness measured with a previously described method and with a method modified by the JISS

Method	Upper arm anterior	Thigh posterior
Previous Studies	0.97	0.94
JISS	0.94	0.98

Table 2: Muscles targeted for measurement of muscle thickness with a method used in some previous studies and with the JISS method

Method	Targeted muscles (Number of subjects)
Previous studies	BFL, BFS, ST, ADM, ADL (3)
	BFL, BFS, ST, ADM (3)
	BFL, BFS, ADM (2)
	BFL, BFS (2)
JISS	ST, ADM (4)
	ST, SM, ADM, ADL (3)
	ST, ADM, ADL (2)
	SM, ADM, ADL (1)

BFL: long head of biceps femoris; BFS: short head of biceps femoris; ST: semitendinosus; SM: semimembranosus; ADM: adductor magnus; ADL: adductor longus.

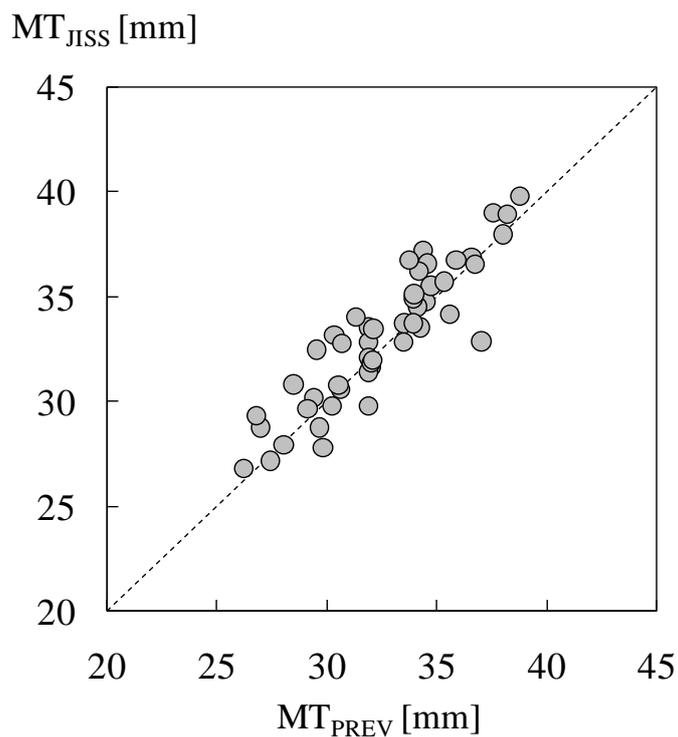


Fig. 4: Relation between muscle thicknesses of the anterior upper arm measured with a previously described method ( $MT_{PREV}$ ) and with the JISS method ( $MT_{JISS}$ )

The difference in muscle thicknesses measured with the two methods was not significant.

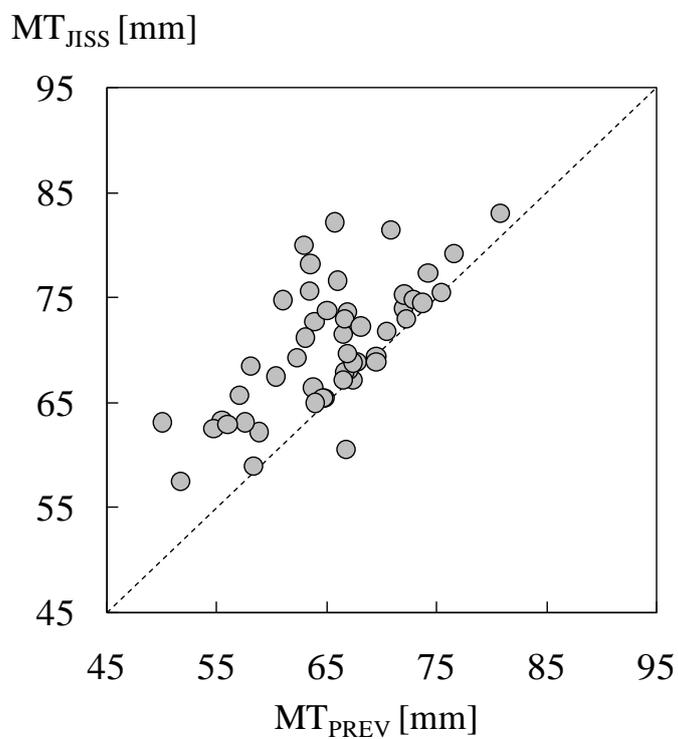


Fig. 5: Relation between muscle thicknesses of the posterior thigh measured with a previously described method ( $MT_{PREV}$ ) and with the JISS method ( $MT_{JISS}$ )

Muscle thickness measured with the JISS method was significantly greater than that measured with the previously described method.

#### 4. 考察

##### [測定1]

従来法および JISS 法に従って B モード超音波法による上腕前部および大腿後部の筋厚測定を 2 回ずつ行ったが、その際の CV の平均値はすべて 3.0% 未満であった。本研究と同様に B モード超音波法を用いて筋厚の測定を行った先行研究では、その CV が 2.9% (下腿三頭筋)<sup>10)</sup>、4.8% (腓腹筋内側頭)<sup>11)</sup>および 8% 未満 (前脛骨筋)<sup>12)</sup>であったと報告している。また、両測定方法による上腕前部および大腿後部の筋厚測定における ICC は 0.94~0.98 とすべて 0.81 以上であった (表 1) が、Landis et al. (1977)<sup>13)</sup>は ICC が 0.81 以上の場合、その信頼性は“almost perfect”であるとしている。以上のような CV および ICC の結果から、B モード超音波法を用いた上腕前部および大腿後部の筋厚測定は、どちらの測定方法に従っても他の先行研究と同等かつ高い再現性で測定が可能であることが示された。

ただし、両測定方法における CV および ICC を比較すると、その差は顕著ではないものの、上腕前部の筋厚測定では JISS 法の方が、大腿後部の筋厚測定では従来法の方が、再現性が低いことが示されている。再現性がより低かった測定方法では、形状が平らではない筋組織と骨の境界を深部の境界としているが、超音波法の原理上、そのような境界から明瞭なエコーを取得することは比較的難しい。すなわち、形状が平らでない境界を超音波法による筋厚測定の基準としたことが、明瞭な超音波画像を取得する難易度を高め、結果的に測定の再現性の低下を引き起こしたものと考えられる。

従来法および JISS 法に従って測定した上腕前部の筋厚には、有意差がみられなかった (図 4)。本研究の統計処理で用いた  $\Delta$  検定は、二標本の差が事前に設定した“意味のある最小の差”以内であれば“同等であること”を積極的に主張する検定である<sup>9)</sup>。したがって、上腕前部の筋厚測定については、どちらの方法に従っても同等の値が得られることが示唆された。また、従来法に従った上腕前部の筋厚測定における被検筋は上腕二頭筋と上腕筋で

あることが安部と福永 (1995)<sup>4)</sup>によって報告されているが、従来法だけではなく JISS 法も上腕二頭筋と上腕筋を被検筋としていることが確認できた (図 1)。このような筋厚の測定値および被検筋の結果から、上腕前部の筋厚測定に関しては従来法と JISS 法が同等であるとみなすことができる。しかしながら、50 名中 9 名の被検者については、両測定方法間の筋厚の差が 2.2~4.1mm と“意味のある最小の差”(1.1mm)の倍以上の値を示していた。したがって、トップアスリートのように個人内の変化を重視する被検者を対象に測定を行う場合などは、両測定方法の長所および短所を考慮した上で、測定開始前にどちらか一方の測定方法を選択しておく必要があるだろう。

大腿後部の筋厚測定については、従来法に比べて JISS 法の方が筋厚を有意に高く評価することが明らかになった (図 5)。その原因については、測定 2 の考察において述べる。

##### [測定2]

JISS 法において深部の境界としているエコーが、大内転筋または長内転筋と内側広筋の境界に由来するものなのか、あるいは大内転筋と長内転筋の境界に由来するものなのか、その点についてはこれまで明らかにされてこなかった。JISS 法における超音波画像では、どちらか一方の境界のみが明瞭に撮像されることが多いが、それがどちらの境界に由来するエコーであるか判断することは困難である。一方、MRI において両境界を確認すると、大内転筋と長内転筋の境界に比べて大内転筋または長内転筋と内側広筋の境界の方が明瞭に描出されていた (図 3)。MRI 法においてこのような画像が得られたことから、JISS 法において深部の境界としている超音波画像の線状の高輝度域は大内転筋と長内転筋の境界ではなく、大内転筋または長内転筋と内側広筋の境界に由来するものであると考えられた。また、この境界と従来法において深部の境界としている筋組織と大腿骨の境界を MRI で確認すると、前者に比べて後者の方が浅部に位置していた (図 3)。従来法に比べて JISS 法の方が

大腿後部の筋厚を有意に高く評価したという測定 1 (図 5) および測定 2 の結果は、このような位置関係に起因するものであると考えられた。

従来法および JISS 法の大腿後部の筋厚測定における被検筋を調べたところ、どちらの測定方法もすべての被検者で被検筋が統一されたものではなく、被検筋の組み合わせが 4 通りずつみられた (表 2)。従来法において、大腿骨の真上に位置する皮下脂肪組織と筋組織の境界が超音波画像内で水平に撮像できた 2 名の被検者では、その被検筋が大腿二頭筋長頭および短頭であった。一方、皮下脂肪組織と筋組織の境界を直線外挿した被検者では、外挿の元となった境界の下にある筋群も被検筋とみなされるため、大腿二頭筋長頭および短頭に加えて半腱様筋や大内転筋が被検筋となる。さらに、大腿骨近くまで張り出すような形状をした長内転筋を有する被検者では、長内転筋も被検筋として加わることとなる (図 6)。JISS 法における被検筋の組み合わせは、従来法と同様に 4 通りみられたが、その組み合わせは従来法とは異なるものであった。その要因として、従来法と JISS 法では超音波プローブの配置が異なることが挙げられる。JISS 法では従来法よりもプローブを内側に配置し、大

内転筋または長内転筋と内側広筋の境界を深部の境界として大腿後部の筋厚を計測する。実際に測定を行う際には、従来法においてプローブを配置する大腿後部の中央部付近にプローブを当て、そのプローブを徐々に内側へ移動させ、大内転筋または長内転筋と内側広筋の境界と思われるエコーが超音波画像に対して水平になったところでプローブの移動を停止する。その際に、プローブをより内側に配置して筋厚を計測すると、半膜様筋や長内転筋が被検筋に含まれるようになる。また、プローブの配置がそれほど内側でなくても、半膜様筋や長内転筋が大腿骨側へ張り出すような形状をしている被検者については、それらの筋が被検筋に含まれるようになる (図 7)。図 3、図 6 および図 7 の MRI から分かるように、大腿後部の筋群の形状は複雑で個人差が大きい。それにも関わらず、どちらの測定方法も被検筋を基準としてプローブの位置を決定していないことから、被検筋に個人差がみられたものと思われる。ただし、超音波法によって大腿後部の筋群の境界を明瞭に撮像することは極めて困難であることから、被検筋を基準とした大腿後部の筋厚測定を行えないことが超音波法の限界と捉えるのが適当であろう。

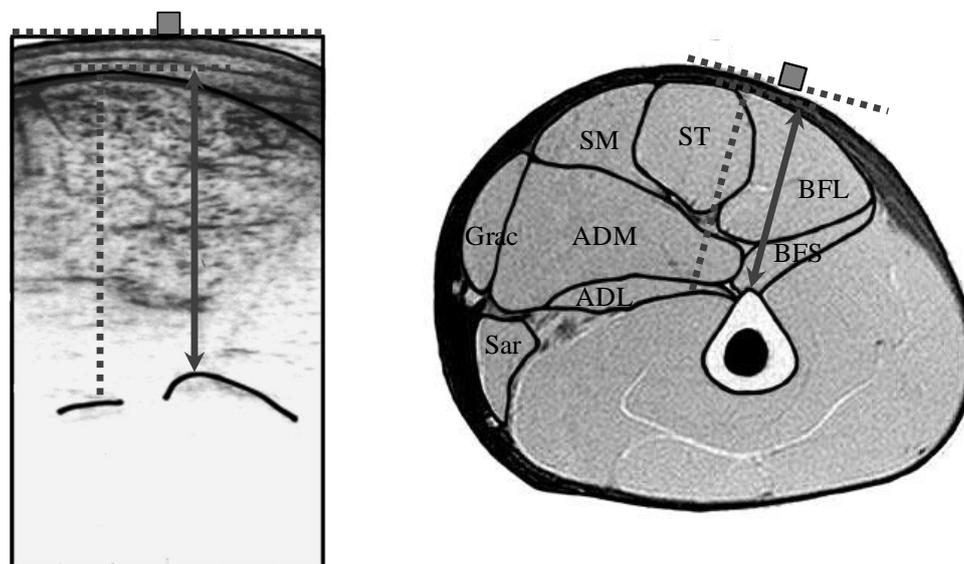


Fig. 6: Illustration of the ultrasound image and the magnetic resonance image obtained using a previously described method in an individual subject

Not only the biceps femoris, but also the semitendinosus (ST), adductor magnus (ADM), and adductor longus (ADL), contributed to muscle thickness (represented by the arrow).

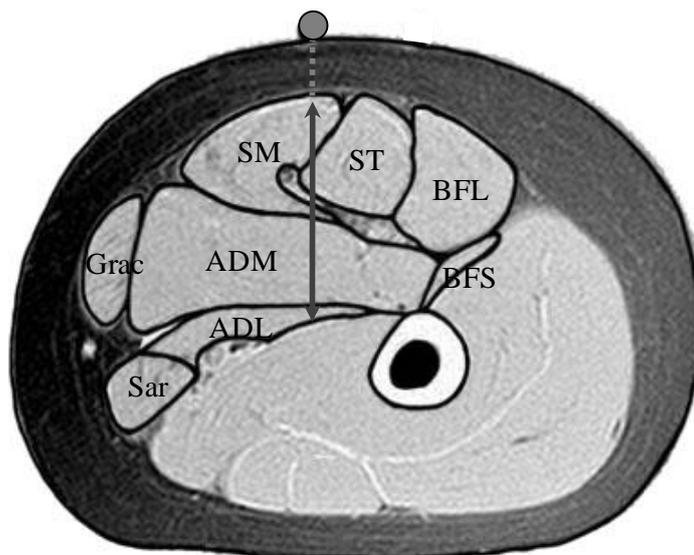


Fig. 7: Illustration of a magnetic resonance image obtained using the JISS method in an individual subject. Not only the semitendinosus (ST) and adductor magnus (ADM) but also the semimembranosus (SM) and adductor longus (ADL) made a contribution to the muscle thickness value.

従来法と JISS 法では異なる筋群を測定の対象としていた (表 2) が、それぞれの測定方法における被検筋群が同一の関節運動を引き起こすのであれば、両測定方法を同一の測定としてみなすことも可能であろう。そこで、両測定方法における被検筋群が引き起こす関節運動を比較するため、各被検筋の股関節および膝関節に対する機能を表 3 にまとめた<sup>14)</sup>。JISS 法に従った筋厚測定では、大内転筋および長内転筋に加えて半腱様筋 (2 名) または半膜様筋 (1 名)、あるいはその両方 (3 名) を被検筋とする被検者がみられた (表 2)。表 3 を参考に股関節および膝関節に対する半腱様筋と半膜様筋の機能を比較してみると、両筋の機能が同一であることが分かる。したがって、上述したような 6 名の被検者に対して JISS 法は、異なる種類の筋群の筋厚を測定していたが、同一の関節運動を引き起こす筋群の筋厚を測定していたということになる。一方、従来法と JISS 法では、測定の対象となる筋群だけではなく、それらの筋群が引き起こす関節運動も一致しない。例えば、従来法で被検筋となっていた大腿二頭筋の長頭および短頭 (表 2) は膝関節の外転に作用する (表 3) が、JISS 法における被検筋の中で膝関節の外転に作用する

筋はない (表 3)。また、測定 1 および測定 2 で示したように、従来法と JISS 法では計測される筋厚の値も異なる (図 5)。このように、従来法と JISS 法による筋厚測定では被検筋、対象となる関節運動および計測される筋厚の値が異なることから、両測定方法は異なる種類の測定として区別して扱う必要がある。したがって、超音波法を用いた大腿後部の筋厚測定を行う際には、測定の目的に応じて適当な方法を選択しなければならない。例えば、測定の再現性を最も重視して測定を行うのであれば、深部の境界から明瞭なエコーを得ることが比較的容易で、CV および ICC の結果が比較的良好であった JISS 法を選択するのが適当であると思われる。また、トレーニング効果や競技特性などを詳細に検討することを目的として測定を行う場合には、測定の対象となる筋群を無視することができない。そのような測定では、両測定方法における被検筋とトレーニング内容や競技動作の対応関係を十分に考慮して、トレーニング内容や競技動作をより反映できる測定方法を選択するべきであろう。

従来法および JISS 法における被検者の測定姿勢は立位であるが、本研究の測定 2 では MRI 装置で

の測定を考慮して、測定姿勢を立位ではなく腹臥位とした。筋の形状は筋の活動によって変化する<sup>7)</sup>が、静止立位時の大腿二頭筋には最大随意筋活動の1~38%の筋活動がみられることが報告されている<sup>15)</sup>。さらに、立位と腹臥位では大腿後部の筋群の長軸方向に対して重力が作用する方向が異なることから、それらの測定姿勢における大腿後部の筋群の形状は完全に一致したものではないと考えられる。したがって、本研究の測定2において明らかにした大腿後部の筋厚測定における被検筋は、腹臥位におけるものであって、立位における被検筋とは異なる可能性があることも念頭に置く必要があるだろう。

### 5. 現場への応用

筋厚は筋横断面積や筋体積との間に有意な相関を示す<sup>1,2)</sup>ことから、筋厚を筋横断面積や筋体積の

指標とみなすことができる。したがって、Bモード超音波法を用いた筋厚測定はトレーニングによる筋肥大、不活動や加齢による筋萎縮などを検討する際に有用な測定である。先行研究では、Bモード超音波法を用いた筋厚測定によって、競技種目や性別による筋厚の差異、トレーニングや不活動、加齢による筋厚の変化を明らかにしてきた<sup>16, 17, 18, 19)</sup>。さらに、最近では、日常的に誰もが利用できる簡易型の超音波画像計測装置の開発が進められており<sup>20)</sup>、超音波法を用いた筋厚測定の実施者は今後、医療従事者や研究者から健康および美容関連事業の従事者あるいは個人にまで広がる可能性がある。このように、超音波法を用いた筋厚測定は今後より幅広い分野でますます活用されることが期待されるが、本研究はそのような大きな発展性を秘めた測定に対して有意義な基礎的な知見を提供するものであると思われる。

Table 3: Function of posterior thigh muscles on hip and knee joints<sup>14)</sup>

Muscle	Hip joint	Knee joint
Long head of biceps femoris	extension	flexion, lateral rotation
Short head of biceps femoris	-	flexion, lateral rotation
Semitendinosus	extension	flexion, medial rotation
Semimembranosus	extension	flexion, medial rotation
Adductor magnus	adduction, lateral rotation, extension (, medial rotation)	-
Adductor longus	adduction, flexion (<70deg flexion), extension (≥80deg flexion)	-

## 6. 参考文献

- 1) Abe T, Kawakami Y, Suzuki Y, Gunji A, Fukunaga T. Effects of 20 days bed rest on muscle morphology. *J Gravit Physiol*, 4: S10-14, 1997.
- 2) Miyatani M, Kanehisa H, Ito M, Kawakami Y, Fukunaga T. The accuracy of volume estimates using ultrasound muscle thickness measurements in different muscle groups. *Eur J Appl Physiol*, 91: 264-272, 2004.
- 3) Abe T, Kondo M, Kawakami Y, Fukunaga T. Prediction equations for body composition of Japanese adults by B-mode ultrasound. *Am J Human Biol*, 6: 613-618, 1994.
- 4) 安部孝, 福永哲夫. 日本人の体脂肪と筋肉分布. 初版, 第6章, 杏林書院, 東京, 91-108, 1995.
- 5) 中村隆一, 齊藤宏, 長崎浩. 基礎運動学. 第6版, 第2章, 医歯薬出版, 東京, 17-42, 2003.
- 6) Naito A, Sun YJ, Yajima M, Fukamachi H, Ushikoshi K. Electromyographic study of the elbow flexors and extensors in a motion of forearm pronation/supination while maintaining elbow flexion in humans. *Tohoku J Exp Med*, 186: 267-277, 1998.
- 7) 赤木亮太, 東香寿美, 太田めぐみ, 高田佑輔, 川上泰雄, 福永哲夫. 筋厚と形態計測値の組み合わせによる筋形状指標の有効性. *スポーツ科学研究*, 2: 1-8, 2005.
- 8) Chilibeck P, Calder A, Sale DG, Webber C. Reproducibility of dual-energy x-ray absorptiometry. *Can Assoc Radiol J*, 45: 297-302, 1994.
- 9) 古川俊之, 丹後敏郎. 新版 医学への統計学. 初版, 第14章, 朝倉書店, 東京, 259-270, 2003.
- 10) Maganaris CN, Baltzopoulos V, Sargeant AJ. In vivo measurements of the triceps surae complex architecture in man: implications for muscle function. *J Physiol*, 512: 603-14, 1998.
- 11) Narici MV, Binzoni T, Hiltbrand E, Fasel J, Terrier F, Cerretelli P. In vivo human gastrocnemius architecture with changing joint angle at rest and during graded isometric contraction. *J Physiol*, 6: 287-297, 1996.
- 12) Maganaris CN, Baltzopoulos V. Predictability of in vivo changes in pennation angle of human tibialis anterior muscle from rest to maximum isometric dorsiflexion. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 79: 294-297, 1999.
- 13) Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 3: 59-74, 1977.
- 14) 坂井建雄, 松村譲児 (監訳). プロメテウス解剖学アトラス (Prometheus LernAtlas der Anatomie) 解剖学総論/運動器系. 初版, 医学書院, 東京, 420-441, 2007.
- 15) Panzer VP, Bandinelli S, Hallett M. Biomechanical assessment of quiet standing and changes associated with aging. *Arch Phys Med Rehabil*, 76: 151-157, 1995.
- 16) Kanehisa H, Funato K, Abe T, Fukunaga T. Profiles of muscularity in junior Olympic weight lifters. *J Sports Med Phys Fitness*, 45: 77-83, 2005.
- 17) Starkey DB, Pollock ML, Ishida Y, Welsch MA, Brechue WF, Graves JE, Feigenbaum MS. Effect of resistance training volume on strength and muscle thickness. *Med Sci Sports Exerc*, 28: 1311-1320, 1996.
- 18) Kawakami Y, Muraoka Y, Kubo K, Suzuki Y, Fukunaga T. Changes in muscle size and architecture following 20 days of bed rest. *J Gravit Physiol*, 7: 53-59, 2000.
- 19) 宮谷昌枝, 金久博昭, 東香寿美, 福永哲夫, 久野譜也. 下肢筋厚における加齢変化の部位差および性差: 20歳代と70歳代の比較. *体力科学*, 52 (Supplement): 133-140, 2003.
- 20) 福田 修, 椿井 正義, 佐藤 広徳, 井上 雅洋. 体脂肪・筋肉量測定を目的としたヘルスケア用超音波エコーの開発. *医療機器学*, 78: 113-124, 2008.

Abstract

**Comparison of two methods of measuring muscle thickness  
using B-mode ultrasonography**

Muscle thickness of the anterior upper arm and posterior thigh was measured by B-mode ultrasonography using two different methods. One method was reported in some previous studies and the other was a method modified by the Japan Institute of Sports Sciences (JISS). For the measurement of the anterior upper arm, the forearm position varied with each method; i.e., supination in the previously described method and neutral in the JISS method. There was no significant difference in muscle thickness between the two methods. The deeper interface used to measure muscle thickness of the posterior thigh was different between the two methods, i.e., the muscle–femur interface in the previously used method and the adductor magnus– or adductor longus–vastus medialis interface in the JISS method. Muscle thickness measured with the JISS method was significantly larger than that measured using the previously described method. In addition, the targeted muscles identified by magnetic resonance imaging were also different between the two methods.

Key words: B-mode ultrasonography, MRI measurement, elbow flexors, hamstrings, adductor muscles of hip joint