

超音波粘弾性計測装置を用いた 筋力評価の有効性の検討

九州大学大学院 村 木 里 志
(共同研究者) 産業技術総合研究所 福 田 修
生産計測技術研究センター
九州大学大学院 福 元 清 剛

Validity of Muscle Strength Evaluation by Elasticity Measuring Instruments using Ultrasound Signal

by

Satoshi Muraki, Kiyotaka Fukumoto
Faculty of Design, Kyushu University

Osamu Fukuda

*Measurement Solution Research Center,
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology*

ABSTRACT

The elasticity measuring instruments using ultrasound signal (EMIUS) can measure the thickness and hardness of muscles distinct from those of subcutaneous fat. The present study investigated whether a combination of the thickness and hardness of muscles without contraction based on EMIUS findings can estimate muscle strength during knee extension in adult males and females. Fifty-nine males and twenty-five females, whose ages ranged from 18 to 39 years, participated in this study. We measured muscle thickness and hardness (change in thickness in response to contact pressure) in the right anterior region of the thigh (rectus femoris muscle and vastus intermedius muscle) without contraction using EMIUS, and the maximal isometric strength of right knee extension (MIS). Since muscle hardness values obtained by EMIUS are influenced by muscle thickness, muscle hardness was arranged by muscle thickness, which was defined as an index of muscle

hardness (IMT). Higher IMT indicates a harder muscle compared with that of other individuals showing the same muscle thickness. In the group including both male and female subjects, MIS was positively and significantly related to both MIS ($r=0.605$, $p<0.05$) and IMT ($r=0.333$, $p<0.05$). On multiple linear regression analysis for estimating the MIS of knee extension, the combination of three parameters (muscle thickness, IMT and sex) allowed accurate estimation of MIS of knee extension ($r=0.833$, $p<0.01$). Although IMT in females increased the ability to estimate muscle strength accurately, it did not contribute to a more accurate estimate in males. In conclusion, these findings suggested that the combination of muscle thickness and hardness as assessed by EMIUS is capable of effectively estimating muscle strength of knee extension without muscle contraction especially in females.

要 旨

超音波粘弾性計測装置 (EMIUS) は筋および皮下脂肪のそれぞれの厚さと硬さを区別して計測できる。本研究はそのEMIUSによって得られる筋の厚さと硬度の組み合わせにより、筋力が推測できるかを検討した。18から39歳の男性59名および女性25名を対象とした。EMIUSを用いて右大腿前部の筋 (大腿直筋および中間広筋) の厚みおよび硬さの指標となる変位量 (10Nの押圧に対する変化), ならびに右膝関節伸展の最大等尺性筋力を計測した。筋の変位量は筋の厚みの影響を受けるために補正を行い、筋硬度指数を作成した。当指数が大きいほど筋が硬いことになる。男女を含めて分析した結果、筋厚 ($r=0.605$, $p<0.01$) および筋硬度指数 ($r=0.333$, $p<0.01$) とも有意な正の相関関係が認められた。筋厚、筋硬度指数および性の3変数による筋力を推測する式を重回帰分析によって作成した。その重相関係数は $r=0.833$ ($p<0.01$) と高い推測能力を示した。しかしながら、男女に分けて同様の分析を行った場合、女性においては筋厚に筋硬度指数を組み合わせることにより推測能力が上昇したが、男性ではそのような効果は認められなかった。以上のことより、

EMIUSによって得られる筋硬度指数は特に女子において膝関節伸展筋力の予測に有用であることが示された。

緒 言

健康・体力づくりを目的とした体力評価が逆に健康を損なってはいけない。特に運動不足者や高齢者は普段行わないような激しい運動を行うと、筋肉や関節を痛めたりするケースが少なくない。体力評価のなかでも特に筋力測定は最大限の力を発揮することが多く、危険性を伴う。このような背景から安全に筋力を評価できる方法が必要となる。また、体力評価の必要性が高い対象は主に運動不足者や高齢者である。対象者がいる場所に容易に持ち運べて、手軽に評価できることも大切となる。

筋力を安全に評価するためには、筋力発揮を必要としない方法が理想である。その一つとして筋力との相関が高い筋横断面積 (筋量) がある^{1,3,7)}。その計測にはMRIやCTを用いた装置が必要となる。しかし、対象者がその装置を所有している限られた施設に出向く必要があるなど、手軽に利用することができない問題がある^{8,9)}。別の方法として、筋横断面積と相関関係が高い筋厚がある。

筋厚の計測は超音波装置により容易に計測でき、また最近を持ち運べるタイプも多くフィールド測定にも対応する。筋厚は筋力評価の有効な手段の一つであると言える。

一方で筋力は筋肉の量的な面だけでなく、質的な面にも影響すると考えられる。そこで我々は量的な面を反映する筋厚に、新たな指標、すなわち筋肉の「硬さ」-「柔らかさ」を加えて、より正確に筋力の推測ができないかと考えた。その筋硬度の計測は、皮膚表面上よりある一定の圧を筋肉に向けて与え、その反力を計測することによって行われているものが多い^{5,11,12)}。しかし、得られる反力は皮下脂肪ならびに筋の硬度が複合された結果であり、筋のみの硬度を評価できない問題を抱えている。そのような背景から、共同研究者の福田は個々の組織の硬度を計測する超音波粘弾性計測装置を開発した(図1, 表1)^{2,13)}。皮膚表面に当てた端子から超音波を投射し、その反射波(エコー)から皮膚-筋-骨の境界を見極め、各組織の厚さを計測する。そして、皮膚より10Nの圧を与え、組織(皮下脂肪, 筋)ごとの厚みの変位量(変形度)を計測する。変位量が小さい場合は硬い、大きい場合は柔らかいことになる(図2)。

著者らは先行して、18から28歳の男女を対象に、超音波粘弾性計測装置によって得られた筋硬度指数が筋力と相関関係があるかを検証した¹⁰⁾。その結果、膝関節伸展(以下、膝伸展)においては、大腿前面の筋が硬いほど最大等尺性筋力が大きくなり、筋硬度指数の有効性が確認された。そして、筋厚に筋硬度指数を加えると、筋力の推測能力がより高くなることが示され、超音波粘弾性計測装置の有効性が確認された。しかしながら、この有効性が性別に関係なく認められるかは明らかになっていない。また、筋厚と筋硬度指数以外の変数を新たに追加することにより推測能力が高まる可能性もある。

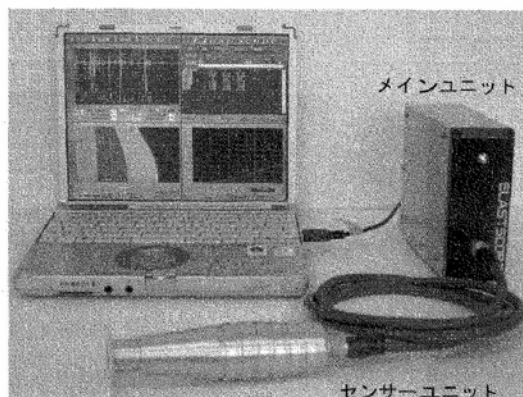


図1 超音波粘弾性計測装置の外観

表1 超音波粘弾性計測装置の仕様

メインユニット	
パルス繰り返し周波数:	3 kHz
スキャン深度:	100 mm
サンプリング周波数:	24 MHz
押圧:	10 N
寸法:	50 (W) × 170 (D) × 130 (H) mm
質量:	約 2 kg
センサーユニット	
超音波端子の周波数:	3MHz
超音波端子の直径:	14mm
接触面の直径:	40mm
押圧機構:	コイルばね (ストローク 10mm)
トリガー:	高精度フォトインタラプタ
寸法:	41 (直径) × 140 (全長) mm
質量:	約 180g

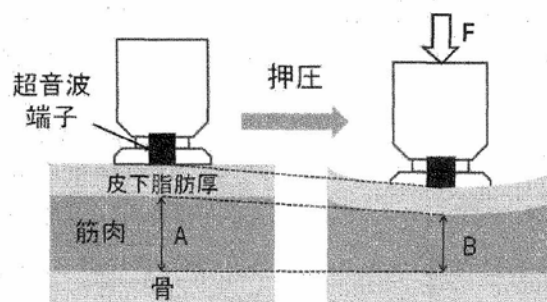


図2 超音波粘弾性計測装置による各組織の硬度計測の仕組み

そこで本研究は、膝伸展筋力とその主動筋である大腿前面の筋(大腿直筋および中間広筋)を対象に、超音波粘弾性計測装置により得られる筋厚および筋硬度の組み合わせにより、どの程度、筋力を推測できるかを男女別に検討した。さらにその推測能力を高める新しい変数の追加の検討も加えた。

1. 方法

1. 1 被験者

18～39歳の健康な男性59名（年齢：24.1±4.6歳，身長：173.3±7.2cm，体重：67.5±7.9kg）および女性25名（年齢：24.4±6.6歳，身長：157.5±5.1cm，体重：50.8±6.0kg）の計84名を被験者とした。被験者の中には，膝伸展筋力測定に支障が生じる整形外科的な症状や痛みがある者は含まれていない。被験者には研究の目的および方法を説明し，文書により同意を得た。尚，当研究は九州大学大学院芸術工学研究院・実験倫理委員会の承認を受けている。

1. 2 実験手順

超音波粘弾性計測装置による右大腿前部の筋硬度の計測を行った後，右膝伸展の最大等尺性筋力を測定した。先行研究¹⁰⁾により筋硬度の日内変動は認められないことから，測定時間帯は特に定めなかった。また，測定前に激しい運動を行っていないことを確認した後，測定を実施した。

1. 3 測定項目

1. 3. 1 超音波粘弾性計測装置による大腿前部の計測

筋硬度の計測は超音波粘弾性計測装置（図1，表1）を用いた^{2, 13)}。当装置は対象とする筋肉の表面上にある皮膚上から一定の圧（10N）を加圧する。加圧の向きは対象とする筋肉に垂直とし，その延長上には骨が位置するように調整する。加圧前および加圧中には超音波が発射され，そのエコーが計測される。そのエコーから皮下脂肪と筋，筋と骨の境界，筋が複層ある場合はその境界の深さの変化が記録できる（図3）。その結果，加圧前および加圧中のエコーから，加圧による皮下脂肪および筋の厚みの変化，すなわち変位量（式（1））が計測できる。変位量が大きいほど柔らか

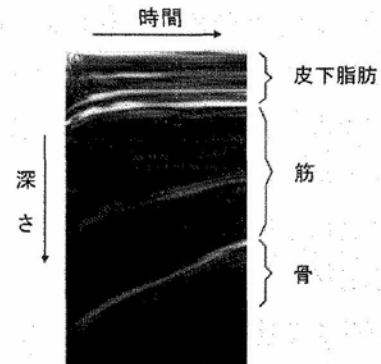


図3 超音波粘弾性計測装置による計測画像の例

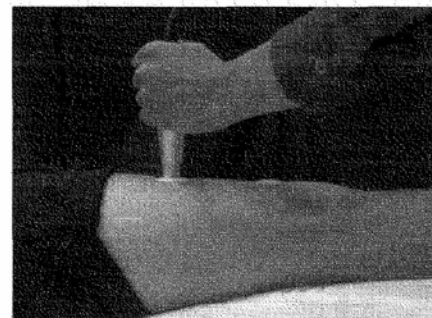


図4 超音波粘弾性計測装置を用いた大腿前部の計測

い，小さいほど硬いことになる。

変位量 (mm)

$$= \text{加圧前の組織厚 (mm)} - \text{加圧後の組織厚 (mm)}$$

式 (1)

本研究では右大腿部（大腿長の50%）の前面中心（大腿直筋，中間広筋）の筋厚および筋硬度を計測した（図4）。大腿前部中央には大腿直筋および中間広筋があるが，両者を一つの筋とみなして扱った。計測は膝が伸展した仰臥位で行った。計測時は膝が真上を向くように脚の姿勢を調節した。5回の計測を行い，最高値と最低値を省いたデータの平均を用いた。

1. 3. 2 下肢筋力の測定

デジタル力量計および張力用アタッチメント（竹井機器工業，TKK1269）を用いて，膝伸展の最大等尺性筋力を測定した。被験者は脚用筋力測

表2 超音波粘弾性計測装置による主要計測値および筋力値

項目	男性 (n=59)		女性 (n=25)	
	平均±SD	範囲	平均±SD	範囲
皮下脂肪厚 [mm]	6.93 ± 1.74	3.8—12.9	11.2 ± 2.07**	7.08—14.3
皮下脂肪厚の変位量 [mm]	0.29 ± 0.22	0.05—1.10	0.79 ± 0.45**	0.16—2.00
筋厚 [mm]	37.9 ± 4.55	26.4—47.5	30.9 ± 6.34**	20.3—44.8
筋厚の変位量 [mm]	9.52 ± 1.15	7.3—12.6	9.30 ± 2.36	5.4—13.1
膝伸展最大等尺性筋力 [kgf]	49.0 ± 11.2	26.0—78.0	22.2 ± 6.7**	11.4—33.1
膝伸展最大等尺性筋力/筋厚 [kgf/mm]	1.30 ± 0.26	0.65—1.78	0.74 ± 0.26**	0.34—1.23

**p<0.01 vs. 男性

定台（背もたれ無し）上に、膝の角度が90度になる椅座位の姿勢をとった。大腿前部以外の筋収縮が起こらないように、前腕を胸部の前で交差させた。そして、足首にベルトを装着させ、最大限の力で膝伸展を行うように指示した。測定は2回実施し、高い方の数値を用いた。

1. 4 統計処理

超音波粘弾性計測装置によって得られた数値の男女間の平均値の比較は unpaired t-test を用いた。超音波粘弾性計測装置によって得られた計測値間、およびそれらの計測値と筋力との相関係数にはピアソンの積率相関係数を用いた。有意水準は5%未満とした。

2. 結果

表2に超音波粘弾性計測装置によって得られた主要値ならびに膝伸展筋力を男女別に示した。皮下脂肪厚、皮下脂肪厚の変位量、筋厚、膝伸展筋力ならびに膝伸展筋力/筋厚において男女間に有意差が認められた。膝伸展筋力/筋厚の男女比は57%であった。

筋力予測に用いる筋硬度の指標に筋厚の変位量を利用する。その筋厚の変位量と超音波粘弾性計測装置によって得られる他の計測値との相関を確認したところ、筋厚との間に有意な正の相関関係が認められた（図5）。それゆえ、本研究では筋厚のみにより補正を行うことにした。その筋厚と筋厚の変位量との関係を図5に示した。それらの

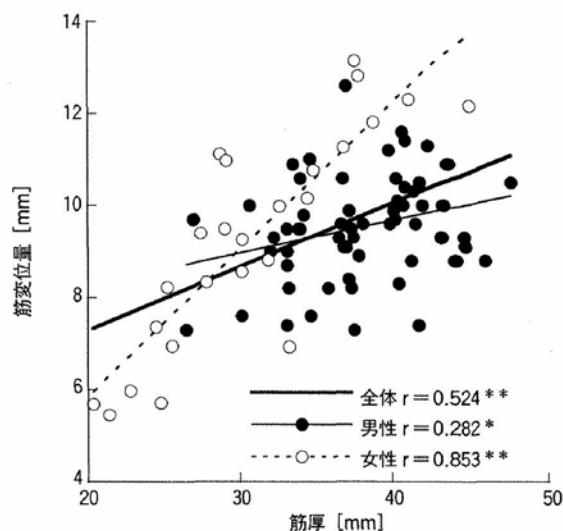


図5 大腿前部の筋厚と筋変位量との関係 (*p<0.05, **p<0.01)

回帰式は

$$\text{全体 } y = 0.138x + 4.52 \quad \text{式 (2)}$$

$$\text{男性 } y = 0.071x + 6.83 \quad \text{式 (3)}$$

$$\text{女性 } y = 0.317x - 4.85 \quad \text{式 (4)}$$

x : 筋厚 [mm], y : 筋の変位量 [mm]

であった。この回帰式の上部に位置する場合は、同じ筋厚の者と比べ、筋の変位が大きい（柔らかい）と言える。逆に下部に位置する場合は、筋の変位が小さい（硬い）と言える。本研究では次の式により筋厚の影響を取り除いた筋硬度指数 (Index of Muscle Hardness: IMH) を算出した。当指数が大きいほど筋が硬い、小さいほど柔らかいことになるように、式を作成した。

$$\text{全体 IMH} = 1 - [a / (0.138b + 4.52)] \quad \text{式 (4)}$$

$$\text{男性 IMH} = 1 - [a / (0.071b + 6.83)] \quad \text{式 (5)}$$

女性 $IMH = 1 - [a / (0.317b - 4.85)]$ 式 (6)

IMH：筋硬度指数, a：超音波粘弾性計測装置によって得られた筋の変位量 [mm], b：超音波粘弾性計測装置によって得られた筋厚 [mm]

筋力と筋厚ならびに筋硬度指数との関係は、対象とした集団によって異なった。男女両者を含め

た全被験者（以下、全体）を対象とした場合、筋厚および筋硬度指数とも膝伸展筋力と有意な正の相関関係が認められた（図6）。一方、男性のみを対象とした場合、筋厚 ($r=0.446, p<0.01$) と筋硬度指数 ($r=0.282, p<0.05$) の両者に有意な正の相関関係が認められ（図7）、女子のみを対象とした場合は筋硬度指数 ($r=0.462, p<0.01$) のみ有意な正の相関関係が認められた（図8）。

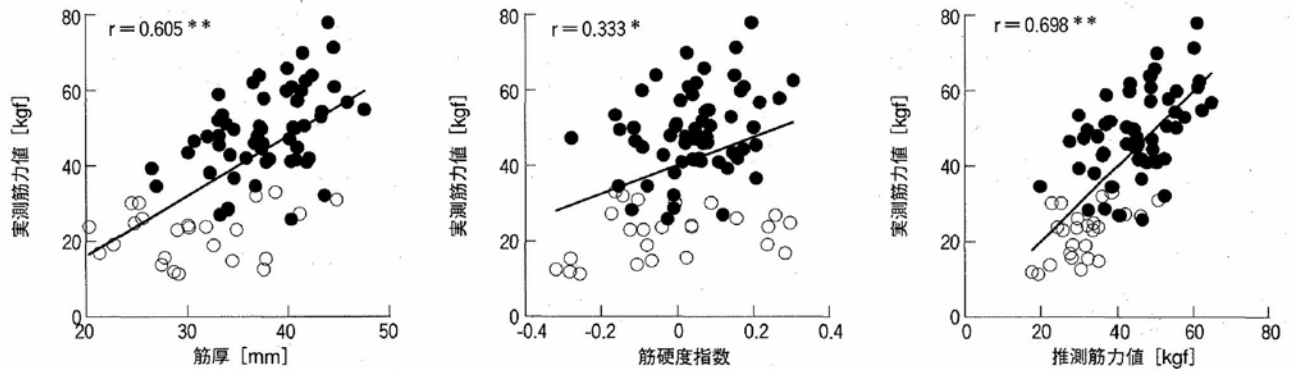


図6 筋厚, IMT および2変数による推測値と膝伸展筋力の実測値との関係 (全体:男性●, 女性○) (* $p<0.05$, ** $p<0.01$)

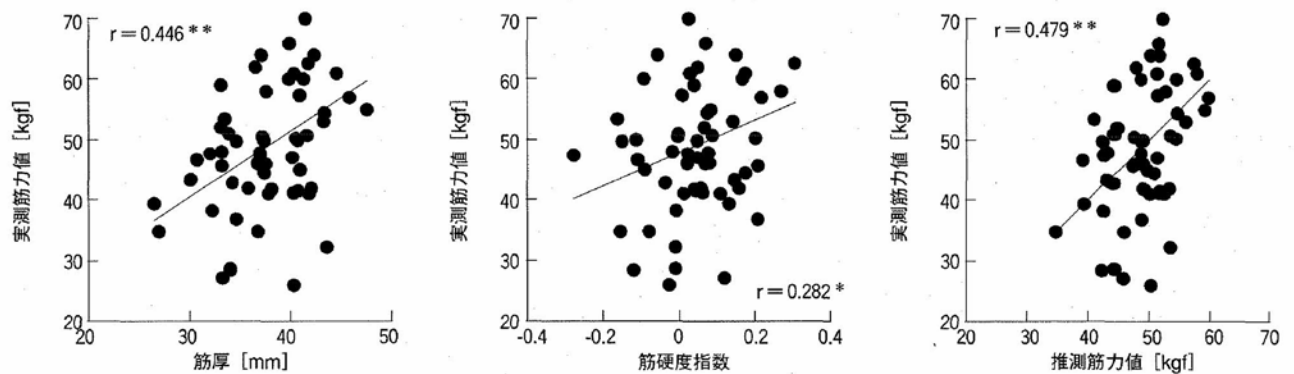


図7 筋厚, IMT および2変数による推測値と膝伸展筋力の実測値との関係 (男性) (* $p<0.05$, ** $p<0.01$)

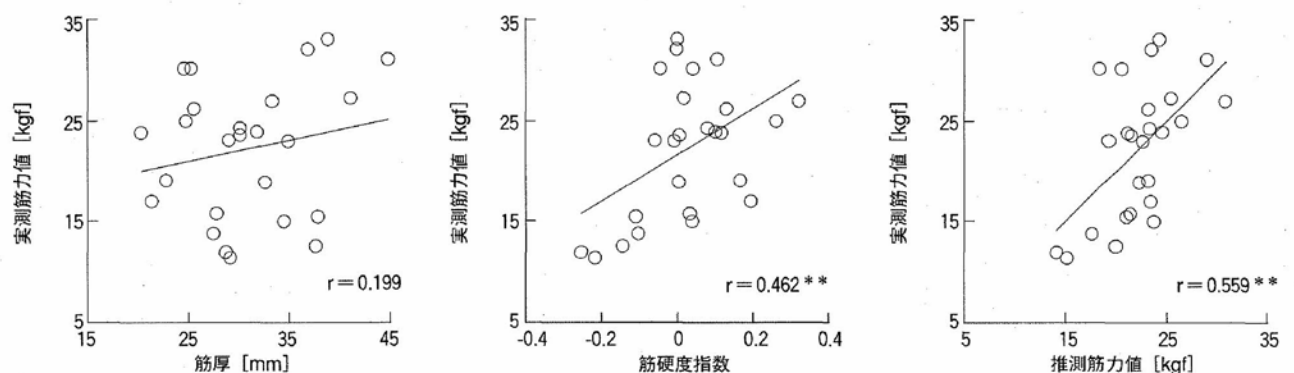


図8 筋厚, IMT および2変数による推測値と膝伸展筋力の実測値との関係 (女性) (** $p<0.01$)

筋力を従属変数，筋厚と筋硬度指数を独立変数とした重回帰分析を行った。その結果，下記の式が得られ，筋力の推測式とした。

$$\text{全体 MISest} = 1.615b + 38.9 \text{ IMH} - 17.76 \quad \text{式(7)}$$

$$\text{男性 MISest} = 0.958b + 17.1 \text{ IMH} + 12.44 \quad \text{式(8)}$$

$$\text{女性 MISest} = 0.337b + 26.5 \text{ IMH} + 11.09 \quad \text{式(9)}$$

MISest：予測膝伸展筋力 [kgf]，b：筋厚 [mm]，IMH：筋硬度指数

これらの推測式によって得られた値と実測値との関係を図6，7，8に加えた。全体の場合，筋厚単独より筋硬度指数を加えた方が，実測筋力値との相関係数が高くなった(0.605→0.698)。しかしながら男女別にみると，筋厚と筋硬度指数を組み合わせた予測能力は全体と比べると小さくなった。特に男性においては筋硬度指数を加えても相関係数の上昇は小さかった(0.446→0.479)。一方女性においては筋厚の相関の低さを筋硬度指数が補い，相関係数が0.199から0.559に大きく上昇した。

最も高い重相関係数を示した式(7)に，新たに年齢，性，身長，体重，皮下脂肪厚の変数を加えて，再度重回帰分析を行った。その結果，共線性が高い変数，標準化係数が有意でない変数を省いた結果，筋厚，筋硬度指数および性の変数が残った。この3変数による筋力を推測する式(10)は次のようになり，その重相関係数は0.833(決定係数0.695)となった(図9)。

$$\begin{aligned} \text{全体 MISest} &= 0.818b + 23.835 \text{ IMH} - 19.420\text{SEX} \\ &+ 16.945 \quad \quad \quad \text{式(10)} \end{aligned}$$

MISest：推測膝伸展筋力 [kgf]，b：筋厚 [mm]，IMH：筋硬度指数，SEX：性(男性：0，女性：1)

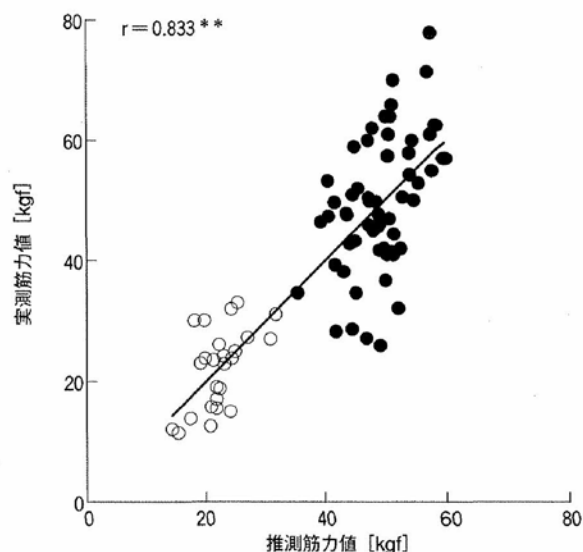


図9 3変数(筋厚，IMH，性)による推測値と膝伸展筋力の実測値との関係(全体：男性●，女性○) (**p<0.01)

3. 考 察

ある筋の厚さと硬度の両者を計測する場合，既存の筋硬度計や超音波装置を利用することが考えられる。この場合，二つの計測を行うために時間を要する。また，従来の筋硬度計は筋のみの硬度を判別できない。さらに，筋硬度計と超音波装置の計測部位が一致しない可能性もある。しかし，超音波粘弾性計測装置はこれらの問題を全て解決し，簡易に筋厚と筋硬度を同時に計測することができる。装置そのものも小型・軽量であり持ち運びも容易である。もし，当装置による筋厚および筋硬度から筋力がある程度推測可能であれば，フィールドでの評価に有効であると考えられる。

超音波粘弾性計測装置によって得られた筋の変位量は筋厚と正の相関関係が認められた。著者らは人工材料(人肌ゲル，(株)エクスールコーポレーション)を用い，硬度が同じで異なる厚みの試料を作製し，超音波粘弾性計測装置により変位量を計測した。その結果，変位量は厚みと正の比例関係が認められ，筋変位量を筋厚で補正した本研究の方法は妥当だと言える。しかしながら，男女別に筋量と筋変位量との関係をみた結果，男性

は女性のような高い相関係数を認めなかった(図7)。これは男性の筋硬度の個人差が大きいこと、もしくは筋の変位量に筋の硬度以外の要因が反映していることが考えられる。後者については上部組織である皮下脂肪の影響が考えられる。どちらが正しいかについては今後の課題としたい。

大腿前部の筋厚と膝伸展筋力との関係をみた結果、男性では有意な正の相関が認められたが、女性ではそのような関係は認められなかった。多くの先行研究が筋力とその主働筋の筋横断面積と正の相関関係を認めている。膝伸展筋力と大腿前部の筋との相関をみた3つの先行研究いずれにおいても女性の方が低い相関係数を示している^{1,4,7}。筋厚をみた本研究でも同様の結果であり、女性は男性と異なり、筋の量と筋力との関係性が低い可能性がある。

筋変位量を筋厚で補正した筋硬度指数においては、男女とも筋力と有意な正の相関関係が認められた。このことは筋が硬いほど筋力も大きいことを示唆している。一般的に、優れたスポーツ選手の筋肉を触ると柔らかいと言われるが⁶、本研究の結果はこの説を否定した。超音波粘弾性計測装置は筋硬度を定量化するために、筋を押しつぶさない程度の圧が選択されている。しかし、人による触診は筋をどの程度の圧で押しているかが明確でなく、筋を押しつぶす程の強い圧をかけて評価している可能性も大きい。今後は本装置を用いて優れたスポーツ選手の筋硬度を実際に計測し、その真偽を確かめていきたい。

一方、筋硬度指数と筋力との関係性を男女で比較すると、女性は男性に比べ高い相関係数を示した。また、筋力との相関係数は、筋厚より筋硬度指数の方が大きかった。つまり、女性は筋の量的な面よりも質的な面の方が筋力と関係深いことになる。Kanehisa et al.⁴ は一般青年男女を対象とし、膝伸展の関節トルクとMRIによる大腿部伸筋群の横断面積を計測した。筋横断面積当たりの

筋力(筋力/横断面積)は男女間で違いがみられ、女性は男性の79%であった。一方、膝伸展最大等尺性筋力を測定したMaughan et al.⁷ の報告では、有意差は認めていないが、筋横断面積当たりの筋力は女性の方が6%低い。また、本研究で得られた女性の膝伸展筋力/筋厚は男性の57%であった。このように、筋横断面積当たりの筋力には一致した見解が得られてはいないが、女性は男性に比べ筋横断面積当たりの筋力が小さい可能性がある。もしそうであれば、女性の筋力は質的な影響をより受け、筋力と筋硬度との相関も高くなると考えられる。

男女含めて全被験者を対象とした場合と女性を対象とした場合において、筋厚に筋硬度指数を加えると、筋力の推測能力が高まった。このことは筋硬度指数が筋力推測に有用であることを示している。さらに全被験者を対象とし、性の変数を加えると相関係数は0.833と高く、説明能力は約7割にも及んだ。筋力測定自体ある程度の誤差が生じることを踏まえると、超音波粘弾性計測装置による筋力推測は十分に筋力を評価できる手法だと言える。しかしながら、男性においては、筋硬度指数と筋力との有意な正の相関は認められたものの、筋厚に筋硬度指数を組み合わせても筋力の推測能力は大きく上昇しなかった。筋硬度指数の有用性が認められなかった理由として、男性は筋の量と硬さが連動して変化しやすいためであると示唆される。

今回は超音波粘弾性計測装置の有効性を10代後半から30代を対象に検討した。当装置の有効性は特に筋力が低い女性において認められた。それゆえ、筋力が低い中高齢者にも同様の有効性が認められることが期待される。また、当装置の特徴は筋力発揮を要せずに安全に筋力評価ができることであり、それは中高齢者の測定に強く求められる。今後はより高い年齢層で当装置の有効性を検討していく予定である。

4. まとめ

筋力を推測する場合、筋厚に筋硬度に関わる指数を加えることにより、説明能力がより高くなることが示された。このことより、筋厚と筋硬度を同時に計測できる超音波粘弾性計測装置は、筋収縮を必要とせずに筋力を推測する手法として有効であることが示された。ただし、性の違いにより筋硬度の有用性が異なった。

謝 辞

本研究に対して助成を賜りました財団法人石本記念デサントスポーツ振興財団に深く感謝申し上げます。本研究を進めるにあたり多大なるご協力を頂きました財団法人熊本県スポーツ科学振興事業団の免田早苗氏、産業技術総合研究所の椿井正義氏、九州大学大学院芸術工学府の大沼誠氏、黒岩光香氏に深く感謝いたします。

文 献

- 1) Akima H., Kano Y., Enomoto Y., Ishizu M., Okada M., Oishi Y., Katsuta S. and Kuno S. : Muscle function in 164 men and women aged 20-84yr. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33: 220-226 (2001)
- 2) Fukuda O., Tsubai M. and Ueno N. : Impedance estimation of soft tissue using ultrasound signal. *Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. 2007*, 3563-3568 (2007)
- 3) Fukunaga T., Miyatani M., Tachi M., Kouzaki M., Kawakami Y. and Kanehisa H. : Muscle volume is a major determinant of joint torque in humans. *Acta Physiol. Scand.*, 172: 249-255 (2001)
- 4) Kanehisa H., Ikegawa S. and Fukunaga T. : Comparison of muscle cross-sectional area and strength between untrained women and men. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 68: 148-154 (1994)
- 5) 北田耕司 : 筋疲労による収縮時の筋硬度変化. *J. J. Sports Sci.*, 13: 273-280 (1994)
- 6) 紺野 義 : スポーツマンのトレーニング-柔らかい筋肉をつくろう-. 東京: 実業之日本社, (1982)
- 7) Maughan R. J., Watson J. S. and Weir J. : Strength and cross-sectional area of human skeletal muscle. *J. Physiol.*, 338: 37-49 (1983)
- 8) Miyatani M., Kanehisa H., Ito M., Kawakami Y. and Fukunaga T. : The accuracy of volume estimates using ultrasound muscle thickness measurements in different muscle groups. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 91: 264-272 (2004)
- 9) Miyatani M., Kanehisa H., Kuno S., Nishijima T. and Fukunaga T. : Validity of ultrasonograph muscle thickness measurements for estimating muscle volume of knee extensors in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 86: 203-208 (2002)
- 10) 村木里志, 福田 修, 福元清剛 : 筋の厚さ(量)と硬さ(質)から筋力を推定する方法の開発. *健康医科学*, 24: 126-133 (2009)
- 11) 孫 崗, 宮川俊平, 木下裕光, 白木 仁, 竹村雅裕, 向井直樹 : 成長期女子サッカー選手における大腿四頭筋の筋硬度の試合前後の変化. *日本臨床スポーツ医学雑誌*, 16: 68-71 (2008)
- 12) 高梨 晃, 烏野 大, 塩田琴美, 藤原孝之, 小沼 亮, 阿部康次, 小駒喜郎 : 2種類の軟部組織硬度計における再現性, 信頼性の検討. *理学療法科学*, 23: 297-300 (2008)
- 13) Tsubai M., Fukumoto K., Fukuda O., Muraki S. and Ueno N. : Development of an Ultrasound System for Measuring Tissue Strain of Lymphedema. *Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. 2008* : 5294-5297, (2008)