

題目：超音波画像を用いた筋膜移動距離と筋硬度測定 of 検者内および検者間信頼性

英文題目：Intra- and Inter-rater Reliabilities of Measurements for Fascial Displacement and Muscle Stiffness by Ultrasound Image

著者名

勝又 泰貴<sup>1)</sup>, 竹井 仁<sup>2)</sup>, 林 洋暁<sup>3)</sup>, 市川 和奈<sup>4)</sup>

英文著者名

Yasuki KATSUMATA, RPT<sup>1)</sup>, Hitoshi TAKEI, RPT<sup>2)</sup>, Hiroaki HAYASHI, RPT<sup>3)</sup>, Kazuna ICHIKAWA, RPT<sup>4)</sup>

所属と住所と電話番号

- 1) 佐久市立国保 浅間総合病院：長野県佐久市岩村田 1862-1 (〒385-8558) TEL 0267-67-2295
- 2) 首都大学東京大学院 人間健康科学研究科 理学療法科学域
- 3) 医療法人社団苑田会 苑田第一病院
- 4) 社会福祉法人 世田谷区社会福祉事業団 訪問看護ステーション北沢

## ABSTRACT

[Purpose] We aimed to examine the intra- and inter-rater reliabilities of measurements for fascial displacement and muscle stiffness by ultrasound image. [Subjects and Methods] We observed lower limbs of 10 healthy individuals (20 limbs) with no medical history of orthopedic disease. We measured moving distances of the superficial and deep layers of fascia in the lateral head of the gastrocnemius during passive dorsal flexion and muscle stiffness at the ankle joint in the zero degree position by ultrasound, and we measured same items again after four days. [Results] For all measurements, the intraclass correlation coefficients were “almost perfect (0.81–1.00)” and there were no fixed and proportional biases for intra- and inter-rater reliabilities. The 95% confidence interval for the minimum detectable change (MDC<sub>95</sub>) for the superficial and deep layers were 0.24 mm and 0.34 mm, respectively, and for the muscle stiffness was 5.94 for the intra-rater reliability. With regard to inter-rater reliability, MDC<sub>95</sub> for the superficial and deep layers were 0.08 mm and 0.10 mm, respectively, and for muscle stiffness was 1.54. [Conclusion] Both intra- and inter-rater reliabilities after four days of this measure method were indicated to be high.

Key words: reliability, fascial displacement, muscle stiffness

要旨

〔目的〕超音波画像を用いた筋膜移動距離と筋硬度測定 of 検者内および検者間信頼性を検討した。〔対象と方法〕対象者は、整形外科的既往のない健常成人 10 名 20 肢とした。腓腹筋外側頭部の、他動的な足関節背屈運動時の浅層および深層筋膜の移動距離と足関節 0° 位の筋硬度を超音波診断装置にて測定し、4 日後に再度測定した。〔結果〕いずれも級内相関係数が almost perfect (0.81～1.00) であり、Bland-Altman 分析の結果、加算誤差、

比例誤差を認めなかった。最小可検変化量の 95%信頼区域は、検者内信頼性の浅層が 0.24 mm、深層が 0.34 mm、筋硬度が 5.94、検者間信頼性の浅層が 0.08 mm、深層が 0.10 mm、筋硬度が 1.54 であった。〔結語〕本法による 4 日後の検者内・検者間信頼性は、ともに高いことが示唆された。

キーワード：信頼性，筋膜移動距離，筋硬度

## I. はじめに

近年、非侵襲的であり比較的容易に用いることができる特徴から、運動器の観察に超音波画像が多く用いられている。長岡<sup>1)</sup>は、超音波画像診断の利点について、他の画像診断では容易に行えない動的画像がリアルタイムに描出できること、と述べている。超音波画像を用いた筋形状測定の信頼性に関して、Maganaris<sup>2)</sup>は下腿三頭筋の羽状角、筋線維長の測定は一貫性があったと述べている。また、Fukunaga<sup>3)</sup>は超音波画像により外側広筋の腱膜と筋束を確認することができたと述べており、超音波画像による測定は十分信頼できる方法であるとされている。超音波画像を用いた筋形状をアウトカムとした研究としては、Chi-Fishman<sup>4)</sup>は大腿直筋における超音波画像と筋力の相関性について調べ、超音波画像上の筋の厚さと筋力には正の相関があったと述べている。筋膜移動距離に関して乙戸<sup>5)</sup>は、腱膜と筋束との交点を指標とし、腓腹筋の加圧条件下における安静時および筋収縮時の筋形状について調べ、筋収縮時かつ 150 mm Hg の加圧時に表層および深層腱膜の移動距離が有意に減少した、と報告している。Ichikawa<sup>6)</sup>も同様に、深筋膜と筋束との交点を指標として筋膜移動距離を測定し、深筋膜に穏やかな圧と伸張を持続的に加えることで筋膜の高密度化（コラーゲン線維とエラスチン線維の高密度化・ヒアルロン酸の凝集・基質のゲル化）の解消を目的とする筋膜リリース（Myofascial Release：MFR）<sup>7)</sup>を健常成人の外側広筋に対して行い、浅層および深層深筋膜移動距離は増大し、筋硬度が低下した、と報告している。これらの先行研究で述べている腱膜あるいは深筋膜とはいずれも、超音波画像を用いて皮下組織の層と筋線維の見える層の間に存在する線状の高輝度領域としており、腱膜と深筋膜は同一部位を指していると考えられる。超音波画像による筋膜の評価に関する信頼性としては、市川<sup>8)</sup>は外側広筋の浅層および深層深筋膜移動距離の測定方法の検者内・検者間信頼性について検討し、検者内・検者間信頼性ともに加算誤差・比例誤差は存在せず高い信頼性を示した、と報告している。村野<sup>9)</sup>も、足関節伸筋支帯領域の脛骨遠位端前縁と深筋膜間距離の検者間信頼性と 1 週間後の検者内信頼性を検討し、やはり検者内・検者間信頼性ともに加算誤差・比例誤差は存在せず高い信頼性を示した、としている。

また、超音波診断装置を用いた組織診として、エラストグラフィも 2003 年の実用化以来、臨床現場において普及してきている。超音波エラストグラフィの種類としては、外部から応力を加えて組織を変形させて歪みを測定するストレイン・イメージングや、体内にせん断波を伝搬させその伝搬速度を記録するシアウェーブ・イメージングなどがあり、ストレイン・イメージングの 1 つであるストレイン・エラストグラフィはわが国で実用化され広く用いられている<sup>10)</sup>。ストレイン・エラストグラフィである超音波 Real-time Tissue Elastography は、組織を圧迫すると柔らかい組織ほど大きく変形し、硬い組織はあまり変形しないという特性を利用し、超音波診断装置のプロープを利用して、超音波の進行方向に圧迫した際に生じる変形の大きさをリアルタイムに記録、解析する<sup>11)</sup>。この超音波 Real-time Tissue Elastography を用いて、廣野<sup>11)</sup>は腓腹筋内側頭とアキレス腱の硬度を、また、Muraki<sup>12)</sup>は棘上筋と棘上筋腱の硬度を測定し、それぞれ高い検者内信頼性を示した、と報告している。

筋膜に対する治療効果について、超音波を用いて経時的に追跡している報告としては、Takei<sup>13)</sup>が MFR と

同様に高密度化の解消を目的とした直接的治療手技であり、特定の領域に深い圧を加え、熱をもたらすために筋膜に対して十分な時間の摩擦を与える筋膜マニピュレーション<sup>14)</sup>を大腿二頭筋と腓腹筋に施行し、施行前後および1週間後の筋膜移動距離と筋硬度を測定したものがあり、筋膜移動距離と筋硬度ともに有意な変化を観察している。

我々の先行研究では、ハムストリングスに対してMFRを行い、自動下肢伸展挙上角度（active straight leg raising angle : ASLR）および他動SLR（Passive SLR : PSLR）と屈曲トルク値の改善効果は4日以上持続した<sup>15)</sup>。しかし、MFRは筋膜に対する治療法でありながら、その効果の検証はパフォーマンスの変化でしか判断できておらず、MFR施行前後と4日後の筋膜そのものの経時的変化を検証できていない。実際に筋膜の高密度化を解消した結果のパフォーマンスの変化であれば、Ichikawaら<sup>6)</sup>の報告同様、MFR後は筋膜移動距離の増大と筋硬度の低下に伴いパフォーマンスは向上し、時間の経過とともにMFRの効果が弱まると、筋膜移動距離の減少と筋硬度の増加が生じ、パフォーマンスが低下すると考える。腓腹筋の筋膜移動距離および筋硬度測定における検者内信頼性および検者間信頼性の相対信頼性だけでなく絶対信頼性まで検討した報告や、MFRを施行して数日後の筋膜の性状の変化を検討した報告は渉猟する限りまだない。そこで、超音波画像を用いて評価のできる筋膜移動距離と筋硬度を測定し腓腹筋へのMFR施行前後と4日後の筋膜の性状の経時的変化を検討する基礎研究として、今回は超音波画像を用いた筋膜移動距離と筋硬度の初回測定日（1回目）とその4日後（2回目）の検者内信頼性および検者間信頼性の絶対信頼性を明らかにすることを目的とした。

## II. 対象と方法

### 1. 対象

対象者は、下肢に整形外科的既往のない健常成人10名20肢で、平均年齢（範囲）は26.3（21-33）歳、身長と体重の平均値（標準偏差）は163.8（7.8）cm、56.7（10.6）kgであった。本研究は首都大学東京荒川キャンパス研究安全倫理審査委員会の承認（承認番号：15083）を得た上で、被験者に対して事前に研究の趣旨について十分に説明したのち、書面での同意を得て実施した。

### 2. 方法

まず、筋膜移動距離測定時の条件を標準化するため、また、1回目と2回目のベースラインの比較のため、足関節最大背屈角度を測定した。測定肢位は背臥位、膝関節0°位とした。第5中足骨底にかかるように電子ゴニオメータ（株式会社ディケイエイチ製 PH-7010 Feedback Logger）の基本軸を合わせ、足部に固定した。電子ゴニオメータの移動軸を腓骨に沿って当て、下腿外側に固定した。東大式ゴニオメータを用いて電子ゴニオメータのゼロ補正を行った。

更に、1回目と2回目のベースラインの比較のため、静止性最大随意収縮時の足関節底屈トルク値を測定した。測定肢位は肩パッドにて体幹を固定し、足関節の角度を他動的に調節できる装置を乗せたベッド（足裏力測定補助具、竹井機器工業株式会社）（図1）上で腹臥位、膝関節0°位、足関節0°位とした。第1中足骨頭に徒手筋力測定機器（アニマ株式会社製 ミュータス F-1）の圧センサーが当たるように固定した。肩パッドと骨盤ベルトにて体幹を固定し、底屈運動時に体幹が動かないようにした。実施前に、正しい運動を学習させるために十分

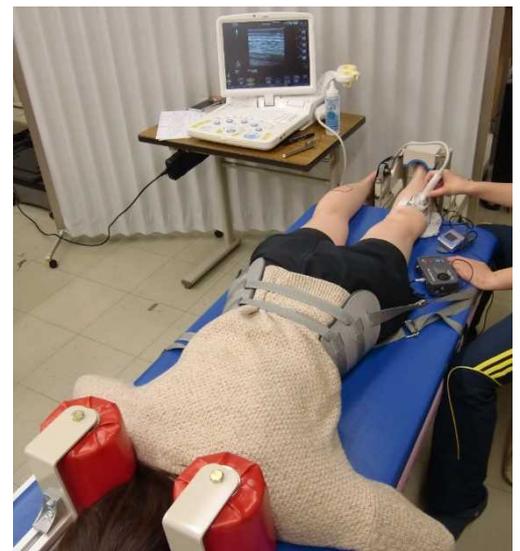


図1 肩パッド（図左下）にて体幹を固定し、足関節の角度を他動的に調節できる（図右上）ように改造したベッド

な練習を行った。測定は、疲労が影響しないよう十分な休憩をはさみながら 5 秒間の最大随意収縮を行った。

次に、筋膜移動距離を測定した。測定肢位は足裏力測定補助具を乗せたベッド上で腹臥位、膝関節  $0^{\circ}$  位とした。リニア型プローブの先端にカプリアタッチメント（日立アロカメディカル株式会社製 EZU-TEATC1）を装着したものをを使用した（図 2）。

a. リニア型プローブ



b. カプリアタッチメント



c. リニア型プローブにカプリアタッチメントを装着したもの



図 2 使用したプローブ

腓腹筋外側頭にプローブを当て、繰り返し同一部位にプローブを当てられるよう油性マジックでカプリアタッチメントの縁をマーキングした。市川ら<sup>7)</sup>の方法を参考に、プローブを当てる部位の近位端にアルミホイルを貼り付け、描出時の筋線維と筋膜の交点を探す指標とした。また、プローブは筋形状に変化を及ぼさない最小かつ明瞭な超音波画像を得られる接触強度とした。超音波診断装置（日立アロカメディカル株式会社製 Noblus）を用いて B モードにて矢状面画像を描出し、脂肪層と腓腹筋の間の筋膜と筋線維の交点で浅層筋膜の移動距離（浅層）を、腓腹筋とヒラメ筋の間の筋膜と筋線維の交点で深層筋膜の移動距離（深層）を測定した（図 3）。移動距離は、足関節  $0^{\circ}$  位にて指標とする交点を画面上で決めたのち、改造したベッドの装置を利用して足関節を他動的に最大背屈可動域の 50% の角度まで動かし、その間、検者は画面上で交点を追視し、超音波診断装置のスケール機能を利用し測定した。

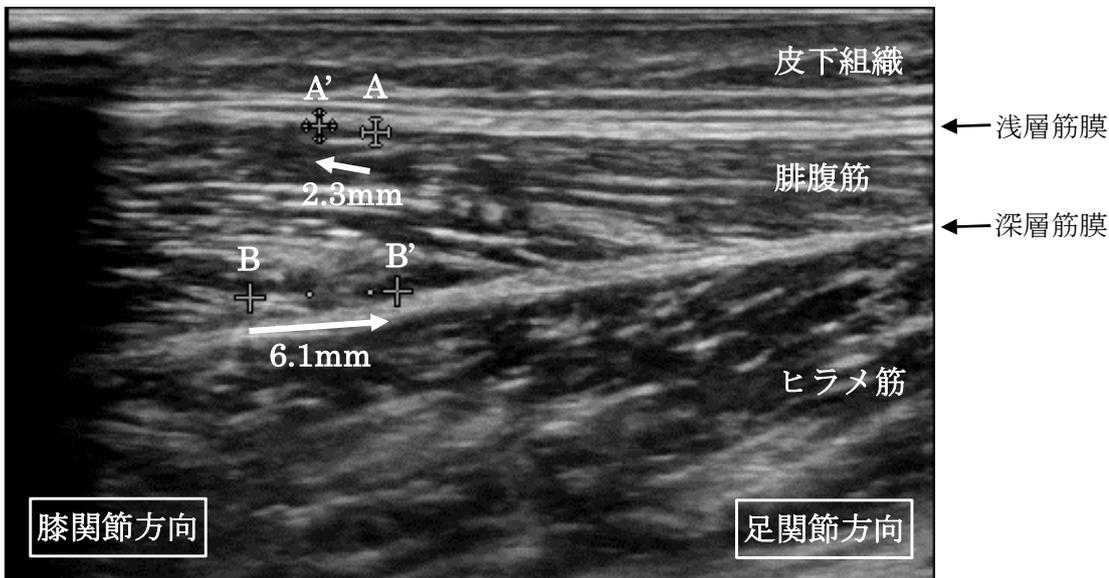


図3 描出した超音波画像

A : 浅層筋膜と筋線維の交点 A' : 他動的背屈運動後の点 A

B : 深層筋膜と筋線維の交点 B' : 他動的背屈運動後の点 B

最後に、筋硬度を測定した。測定肢位は足裏力測定補助具を乗せたベッド上で腹臥位、膝関節  $0^\circ$  位、足関節  $0^\circ$  位とした。筋膜移動距離を測定した部位と同一部位にプローブを当てた。この時、筋硬度の比較対象とするためプローブと皮膚の間に厚さ 5 mm の SONA GEL (タキロン株式会社製 N0511) を挟んだ。SONA GEL は音響カプラーゲルであり、生体曲面への密着性に優れ、組織高度の定量化に用いられる。超音波診断装置の Real-time Tissue Elastography 機能を利用し、画面上で確認しながら一定の圧を数回加え、適切な圧を加えることのできたものを抽出した。SONA GEL と関心領域(画面に描出されている腓腹筋の上下・左右中央部)の歪比 (strain ratio) をそれぞれ算出し、平均値を採用した。

それぞれの測定は 3 回行い、平均値 (有効数字 3 桁) を採用した。

筋膜移動距離および筋硬度の測定は、検者 A (臨床経験 13 年目) と検者 B (臨床経験 4 年目) の 2 名で行い、1 回目は検者 A が、2 回目は検者 A と検者 B がそれぞれ同一方法で超音波診断装置を操作して測定した。

統計解析は、足関節最大背屈角度と底屈トルク値の 1 回目と 2 回目の差について正規性を確認後、対応のある t 検定を、筋膜移動距離と筋硬度の測定方法に関する信頼性は級内相関係数 (intraclass correlation coefficient : ICC) と Bland-Altman 分析、最小可検変化量 (minimal detectable change : MDC) の 95% 信頼区域 (MDC<sub>95</sub>) を用いた。

ICC の算出には SPSS Statistics 22 (IBM) を用い、検者 A の 1 回目と 2 回目の検者内信頼性 ICC (1, 1) および 2 回目の検者 A と検者 B の検者間信頼性 ICC (2, 1) を算出した。

Bland-Altman 分析は、2 つの測定値の差を y 軸、2 つの測定値の平均を x 軸とする散布図 (Bland-Altman plot) を作成した。次に、2 つの測定値間の加算誤差の有無を判断するため、2 つの測定値の差の平均の 95% 信頼区間を算出し、区間内に 0 を含まない場合に加算誤差が存在すると判断した<sup>16,17)</sup>。さらに比例誤差の有無を判断するため、相関の有意性の検定を行った。相関の有意性の検定は、以下の式 (式 1) より t 値を算出し、t 値が自由度  $n - 2$ 、有意水準 5% の t 値よりも大きければ有意な相関があると判断した<sup>16)</sup>。

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (\text{式 1})$$

r : 2 つの測定値の差と 2 つの測定値の平均値のデータ群の相関係数, n : 標本数

Bland-Altman 分析にて, 誤差の範囲を検討するために,  $MDC_{95}$  を算出した.  $MDC_{95}$  は 2 つの測定値の差の標準偏差を用いた以下の式 (式 2) によって算出した<sup>16,18)</sup>.

$$MDC_{95} = SD \times 1.96 \quad (\text{式 2})$$

SD : 2 つの測定値の差の標準偏差

### III. 結果

各測定項目の平均値 (標準偏差) を表 1 に示す.

足関節最大背屈角度と底屈トルク値の 1 回目と 2 回目の差について対応のある t 検定の結果, どちらも有意な差は認めなかった (背屈角度 :  $p=0.20$ , 底屈トルク値 :  $p=0.16$ ).

ICC (1, 1) については浅層, 深層, 筋硬度がそれぞれ 0.89, 0.98, 0.90 であった (表 2). また, ICC (2, 1) については浅層, 深層, 筋硬度がそれぞれ 0.96, 1.00, 1.00 であった (表 3).

Bland-Altman 分析の結果, 検者内の 95%信頼区間は, 浅層, 深層, 筋硬度がそれぞれ-0.08~0.04, -0.09~0.07, -1.14~1.70 (表 2), 検者間の 95%信頼区間は, 浅層, 深層, 筋硬度がそれぞれ-0.07~0.06, -0.07~0.09, -1.50~0.82 であった (表 3). また, 相関の有意性検定については, 検者内信頼性における浅層, 深層, 筋硬度がそれぞれ 0.72, 0.08, 1.27 (表 2), 検者間信頼性における浅層, 深層, 筋硬度がそれぞれ 0.55, 0.25, 1.61 であった (表 3).

$MDC_{95}$  については, 検者内信頼性における浅層, 深層, 筋硬度がそれぞれ 0.24 mm, 0.34 mm, 5.94 (表 2), 検者間信頼性における浅層, 深層, 筋硬度がそれぞれ 0.08 mm, 0.10 mm, 1.54 であった (表 3).

表 1 各測定値の平均値 (標準偏差)

|             | 背屈角度 [°]    | 底屈トルク値 [N/kg] | 浅層 [mm]      | 深層 [mm]     | 筋硬度         |
|-------------|-------------|---------------|--------------|-------------|-------------|
| 検者 A (1 回目) | 19.3 (5.55) | 0.40 (0.13)   | -1.34 (0.43) | 6.30 (1.86) | 95.6 (28.9) |
| 検者 A (2 回目) | 19.4 (5.41) | 0.41 (0.13)   | -1.35 (0.44) | 6.30 (1.86) | 95.6 (29.1) |
| 検者 B (2 回目) |             |               | -1.36 (0.45) | 6.30 (1.86) | 95.4 (28.5) |

表 2 筋膜移動距離と筋硬度の検者内信頼性

| ICC (1.1) | 加算誤差    |              | 比例誤差     |        | $MDC_{95}$ |           |
|-----------|---------|--------------|----------|--------|------------|-----------|
|           | 95%信頼区間 | 有無           | 相関の有意性検定 | 有無     |            |           |
| 浅層        | 0.89    | -0.08 ~ 0.04 | 無        | t=0.72 | 無          | 0.24 [mm] |
| 深層        | 0.98    | -0.09 ~ 0.07 | 無        | t=0.08 | 無          | 0.34 [mm] |
| 筋硬度       | 0.90    | -1.14 ~ 1.70 | 無        | t=1.27 | 無          | 5.94      |

表 3 筋膜移動距離と筋硬度の検者間信頼性

| ICC (2.1) | 加算誤差    |              | 比例誤差     |        | $MDC_{95}$ |           |
|-----------|---------|--------------|----------|--------|------------|-----------|
|           | 95%信頼区間 | 有無           | 相関の有意性検定 | 有無     |            |           |
| 浅層        | 0.96    | -0.07 ~ 0.06 | 無        | t=0.55 | 無          | 0.08 [mm] |
| 深層        | 1.00    | -0.07 ~ 0.09 | 無        | t=0.25 | 無          | 0.10 [mm] |
| 筋硬度       | 1.00    | -1.50 ~ 0.82 | 無        | t=1.61 | 無          | 1.54      |

#### IV. 考察

今回の調査では、腓腹筋への MFR 施行前後と 4 日後の筋膜の性状の経時的変化を超音波画像を用いて検討する基礎研究として、超音波画像を用いた筋膜移動距離と筋硬度の初回測定日とその 4 日後の検者内信頼性および検者間信頼性の絶対信頼性を明らかにすることを目的とした。

1 回目と 2 回目の、足関節最大背屈角度と底屈トルク値に有意な差を認めなかったことから、今回の対象者 10 名 20 肢の腓腹筋外側頭に筋肥大あるいは筋萎縮、腓腹筋を含む下腿周囲の筋膜の機能異常等の変化は生じず、1 回目と 2 回目で同一条件下での測定を行うことができたと考ええる。

ICC について、Landis ら<sup>19)</sup>は判断基準を almost perfect (0.81~1.00), substantial (0.61~0.80), moderate (0.41~0.60), fair (0.21~0.40), slight (0.0~0.21)としていることから、今回の浅層および深層、筋硬度の測定方法は、検者内信頼性と検者間信頼性ともに almost perfect であったと判断できる。また、Bland-Altman 分析の結果、検者内信頼性と検者間信頼性のいずれの測定においても 95%信頼区間が 0 を含んでおり、加算誤差の存在を認めなかった。相関の有意性検定においても、自由度 18、有意水準 5%の t 値は 2.10 であることから、検者内信頼性と検者間信頼性のいずれの測定においても有意な相関は認めず、比例誤差も存在しないことが明らかとなった。加算誤差あるいは比例誤差を認めた場合、誤差の範囲は limit of agreement (LOA) を算出するが、今回、いずれの項目でも加算誤差あるいは比例誤差を認めなかったため、MDC<sub>95</sub>のみを算出した<sup>18)</sup>。MDC<sub>95</sub>は 2 つの測定値の変化量が測定誤差によるものであるという限界値を示したものであり、値が MDC<sub>95</sub> 以内であれば測定誤差によるものとされ、MDC<sub>95</sub> 以上であれば「真の変化」が生じたと判断することが可能である<sup>18)</sup>。本研究の結果から得られた MDC<sub>95</sub>は、臨床上有効な変化が生じているかを判断するための一指標となると考える。しかし、市川ら<sup>8)</sup>は外側広筋部の筋膜を指標として筋膜移動距離を測定し、検者内の浅層の MDC<sub>95</sub>が 0.77 mm、深層の MDC<sub>95</sub>が 1.43 mm、検者間の浅層の MDC<sub>95</sub>が 0.63 mm、深層の MDC<sub>95</sub>が 1.96 mmとしている。また、村野ら<sup>9)</sup>は前脛骨筋部の筋膜を指標として筋膜移動距離を測定し、検者内の浅層の MDC<sub>95</sub>が 0.99 mm、検者間の浅層の MDC<sub>95</sub>が 1.16 mmとしている。これらより、筋膜移動距離の測定に関しては、測定する部位ごとの MDC<sub>95</sub>を事前に算出する必要があると考える。

本研究が高い信頼性を得られた理由としては、プローブを当てる角度と位置を一定にできたためと考える。リニア型プローブは、線状に人体と接触する（接触面積が細長い）ためプローブの傾斜角度が変化しやすい。プローブの傾斜角に変化が生じるとパルス波とエコーも影響を受け、測定誤差が生じやすい<sup>20)</sup>。その点、カプリアタッチメントをプローブの先端に装着することで、プローブが面状で接触する（接触面積が広い）ため、対象とする部位に対し常に直角にプローブを当てることが可能となる。また、油性マジックで面状に型取っていたことにより、直線方向や回旋方向のずれが生じることなく毎回一定に当てることができたと考ええる。筋硬度の測定においては、Muraki ら<sup>12)</sup>はやはり音響カプラーを用い、また、Yanagisawa ら<sup>21)</sup>は hydrogel を用い Real-time Tissue Elastography による筋硬度測定の高い信頼性を得ている。本研究でも SONA GEL という基準となる物質を介在させたことで、歪比の分母（高度基準物質）を一定に保ち測定できたことが、高い信頼性を得られた理由の 1 つと考える。

今後の検討すべき課題としては、プローブ位置を固定するために油性マジックを用いてマーキングした点である。研究においては、1 回目の測定から期間を置いて再度測定する場合に高い検者内信頼性を得るためには、油性マジックは有用であったが、臨床的には再評価をするまでにマーキングを維持することは、測定する部位によっては見た目上の問題が生じてくる。ランドマークを利用して測定個所を決定し、かつ高い信頼性を得ることができれば、より臨床的な超音波診断装置の有用性を言えると考ええる。

本研究の結果、超音波画像を用いた筋膜移動距離と筋硬度の 4 日後の再測定は、信頼性が高いことが示唆された。今後は、MFR の効果と筋膜の性状の変化について、超音波画像を用いて絶対信頼性の観点を加味しつつ経

時的变化を検討したい。

#### 引用文献

- 1) 長岡正宏：運動器に対する超音波診断. 日大医学雑誌, 2013, 72(1) : 30-33.
- 2) Maganaris CN, Baltzopoulos V, Sageant AJ, et al. : In vivo measurements of the triceps surae complex architecture in man—implications for muscle function. J Physiol, 1998, 512(2) : 603-614.
- 3) Fukunaga T, Ito M, Ichinose Y, et al. : Tendinous movement of a human muscle during voluntary contractions determined by real-time ultrasonography. J Appl Physiol, 1996, 81(3) : 1430-1433.
- 4) Chi-Fishman G, Hicks JE, Cintas HM, et al. : Ultrasound imaging distinguished between normal and weak muscle. Arch Phys Med Rehabil, 2004, 85(6) : 980-986.
- 5) 乙戸崇寛, 竹井 仁, 妹尾淳史：腓腹筋への定量的加圧が安静時及び等尺性筋収縮時の筋形状変化に及ぼす影響. 日本保健科学学会誌, 2007, 10(3) : 174-181.
- 6) Ichikawa K, Takei H, Usa H, et al. : Comparative analysis of ultrasound changes in the vastus lateralis muscle following myofascial release and thermotherapy : A pilot study. J Bodyw Mov Ther, 2015, 19(2) : 327-336.
- 7) 竹井 仁：筋膜リリース 系統別・治療手技の展開改訂第3版. 竹井 仁 (編), 協同医書出版社, 東京, 2014, pp13-58.
- 8) 市川和奈, 宇佐英幸, 小川大輔・他：超音波画像を用いた深筋膜移動距離測定信頼性の検討. 日本保健科学学会誌, 2013, 16(1) : 21-28.
- 9) 村野勇, 蛭原文吾, 瀧原純・他：超音波画像を用いた足関節伸筋支帯領域の動態観察—脛骨深筋膜間の計測に関する信頼性の検討—。理学療法科学, 2016, 31(1) : 93-97.
- 10) 椎名 毅：超音波エラストグラフィの研究開発の現状・動向. Medical Imaging Technology, 2014, 32(2) : 63-68.
- 11) 廣野準一, 向井直樹, 高柳尚司・他：一過性運動が腓腹筋及びアキレス腱の硬度に及ぼす影響—超音波 Real-time Tissue Elastography を用いた検討—。体力科学, 2013, 62(3) : 199-205.
- 12) Muraki T, Ishikawa H, Morise S, et al. : Ultrasound elastography-based assessment of the elasticity of the supraspinatus muscle and tendon during muscle contraction. J Shoulder Elbow Surg, 2015, 24(1) : 120-126.
- 13) Takei H, Ichikawa K, Hata M, et al. : The time course of the effect of intervention using fascial manipulation® - Analysis by diagnostic ultrasound, and ROM and muscle strength measurement. PROGRAM & ABSTRACTS (IFOMPT, 2016) : PO2-MT-059, 2016.
- 14) 竹井 仁：筋膜マニピュレーション—理論的背景と評価および治療方法—。理学療法科学, 2015, 42(8) : 757-758
- 15) 勝又泰貴, 竹井 仁, 堀 拓朗・他：筋再教育運動が筋膜リリース後の筋筋膜の伸張性および筋力に与える影響. 理学療法科学, 2016, 31(1) : 99-106.
- 16) 下井俊典, 谷 浩明：Bland-Altman 分析を用いた継ぎ足歩行テストの検者内・患者間信頼性の検討. 理学療法科学, 2008, 23(5) : 625-631.
- 17) Bland JM, Altman DG : Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. Lancet, 1986, 327(8476) : 307-310.
- 18) 下井俊典：評価の絶対信頼性. 理学療法科学, 2011, 26(3) : 451-461.

- 19) Landis JR, Koch GG : The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 1977, 33(1) : 159-174.
- 20) 木野達司 : 運動器の超音波, 南山堂, 東京, 2008, pp3-23.
- 21) Yanagisawa O, Niitsu M, Kurihara T, et al. : Evaluation of human muscle hardness after dynamic exercise with ultrasound real-time tissue elastography—a feasibility study. *Clin Radiol*, 2011, 66(9) : 815-819.