

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：82632

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700695

研究課題名(和文)超音波エラストグラフィを用いた筋硬度定量法の確立と筋コンディション評価への応用

研究課題名(英文) Establishing a quantitative method for muscle hardness by using ultrasound elastography, and application of the method to assessment of muscle condition

研究代表者

千野 謙太郎 (Chino, Kentaro)

独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター・スポーツ科学研究部・契約研究員

研究者番号：30443245

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：超音波エラストグラフィは、外力によって組織内部に生じた変位や弾性波の速度に基づいて組織弾性を計測する画像法である。超音波エラストグラフィは外力の種類によって分類されるが、本研究ではStrain elastographyおよびShear wave elastographyを用いた。Strain elastographyを用いた研究では、2種類の参照体を用いた筋硬度の定量法の妥当性および信頼性を明らかにし、筋硬度と併せて筋形状が測定できることを示した。Shear wave elastographyを用いた研究では、筋の弾性と筋や皮下脂肪の厚さの関係や筋の弾性と関節柔軟性の関係を検討した。

研究成果の概要(英文)：Ultrasound elastography is an imaging method that measures tissue elasticity based on tissue displacement or elastic wave velocity that is induced by external force. The elastography is classified according to the type of the external force, and we used strain elastography and shear wave elastography. By using the strain elastography, we revealed the validity and reliability of a quantitative method for muscle hardness using two types of tissue mimicking materials, and showed the feasibility of concurrent measurement of muscle hardness and muscle architecture. By using the shear wave elastography, we investigated the relationship between muscle elasticity and thickness of adipose tissue or muscle and the relationship between muscle elasticity and joint flexibility.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：超音波エラストグラフィ 筋硬度 筋の弾性

1. 研究開始当初の背景

超音波エラストグラフィは組織の弾性を観測および計測する方法であり、乳腺や肝臓、甲状腺などの腫瘍の診断に利用されている。また、肉離れや筋ジストロフィーなど筋に関する疾患の診断に対しても、超音波エラストグラフィが有用であることが先行研究によって示されている。超音波エラストグラフィは組織弾性を計測する際に用いられる外力の種類によって分類されるが、Strain elastography は圧力による組織のひずみに基づいて組織弾性を計測する方法である。この方法を用いて筋硬度を測定した先行研究では、超音波装置に搭載された2部位のひずみ比を算出できるソフトウェアを利用し、脂肪組織や均質な参照体に対する筋硬度の相対的な変化を示している。しかし、そのような方法で得られる筋硬度は相対値であり、Strain elastography を用いて筋硬度の絶対値を定量する方法は確立されていない。

我々は2種類の硬度既知の均質な組織模倣体を用いることで Strain elastography によって筋硬度の絶対値を求める方法を考案し、腓腹筋内側頭の筋硬度を測定した。得られた筋硬度は、超音波トランジエントエラストグラフィやMRエラストグラフィを用いて腓腹筋内側頭の筋硬度を測定した先行研究によって報告された値の範囲内に収まるものであった。しかし、このような筋硬度の定量法を確立するためには、この方法の妥当性や信頼性を確認する必要がある。また、この筋硬度の定量法は、運動による筋コンディション変化の評価に応用できるものと思われる。

2. 研究の目的

超音波エラストグラフィを用いて筋硬度を定量する方法を確立し、その方法を運動による筋コンディション変化の評価に応用することであった。

3. 研究の方法

(1) 2012 年度

<実験 1>

Strain elastography によって筋硬度の絶対値を求める方法の妥当性および信頼性を確認するため、市販の組織模倣体を用いた実験を行った。機械的変位-荷重圧縮法によって測定された組織模倣体の硬さ (E_{Comp}) は、20, 30, 40, 50, 60, 70 および 80 kPa であった。Strain elastography によって硬度の絶対値を求めるため、組織模倣体と同一の材料で作成された2種類の参照体 (7 kPa: 軟らかい参照体、30 kPa: 硬い参照体) を用いた。組織模倣体の上に硬い参照体と軟らかい参照体を重ね、Strain elastography (EUB-7500; 日立メディコ) を用いて参照体および組織模倣体のひずみを計測した(図1)。2種類の参照体のひずみと硬さの関係を直線回帰し、その回帰式に組織模倣体のひずみを代入することで組織模倣体の硬さ (E_{US}) を求

めた。それぞれの組織模倣体に対して8回ずつ測定を行い、変動係数 (CV) および級内相関係数 (ICC) [1,1] から方法の信頼性を検討した。また、この方法の妥当性を検討するため、 E_{Comp} と E_{US} の関係をピアソンの相関係数 (r) によって解析すると共に、単回帰によって回帰直線を求めた。さらに、2つの方法による硬度の絶対誤差率 [$(E_{US} - E_{Comp}) / E_{Comp} \times 100$] を算出した。

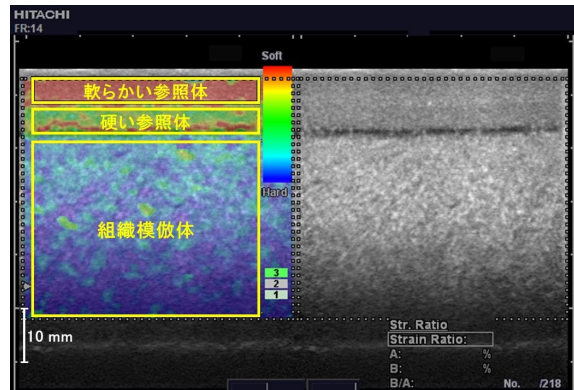


図1: 組織模倣体の超音波エラストグラフィ画像

<実験 2>

筋形状を測定することができるBモード超音波画像は、筋硬度を計測することができる超音波ひずみ画像と並べて表示される。そこで、本実験では超音波エラストグラフィを用いて腓腹筋内側頭の筋形状指標 (筋厚、羽状角、筋束長) と筋硬度の同時測定を行った(図2-a)。同時測定の基準値として用いるため、筋形状指標のみの単独測定も行った(図2-b)。足関節 20° 背屈位、中間位および 30° 底屈位において、両測定をそれぞれ2回ずつ実施した。

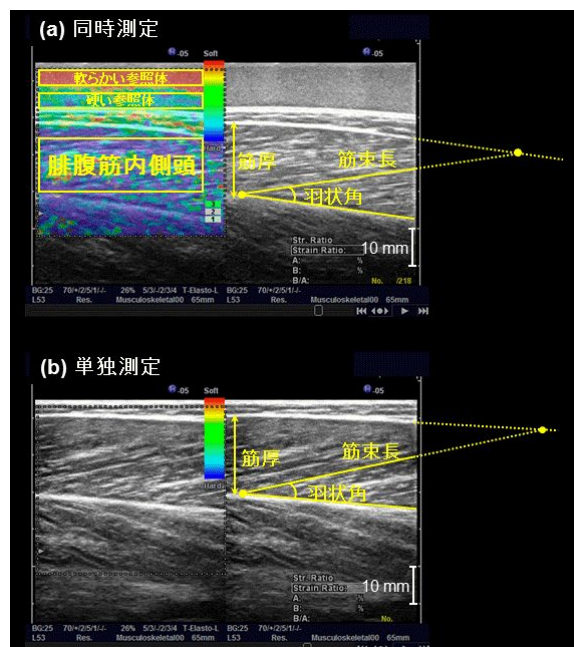


図2: 腓腹筋内側頭のBモード超音波および超音波エラストグラフィ画像

(2) 2013 年度

2012 年度の < 実験 1 > によって Strain elastography を用いた筋硬度の定量法を確立したが、2013 年度からは筋の弾性をより簡便に定量できる Shear wave elastography (Aixplorer; SuperSonic Imagine) を用いて筋の弾性を測定することとした。超音波エラストグラフィの撮像面が計測される筋の弾性に及ぼす影響を検討するため、腓腹筋内側頭および上腕二頭筋の弾性を横断面および縦断面において測定し、それらの値を比較した。被検者は健常な男性 31 名とし、Shear wave elastography を用いて下腿長の近位 30% における腓腹筋内側頭および上腕長の近位 60% における上腕二頭筋のせん断波速度を測定した。各筋の横断面および縦断面におけるせん断波速度の統計的な有意差を対応のある t 検定 (両側検定) によって確認した。

(3) 2014 年度

< 実験 1 >

本実験の目的は、超音波エラストグラフィによって計測した筋の弾性に筋や皮下脂肪の厚さが及ぼす影響を検討することであった。そこで、健常な男性 33 名および女性 33 名を対象とし、大腿長の 50% 部位における大腿直筋のせん断弾性率を超音波エラストグラフィによって測定し、筋厚および皮脂厚を B モード超音波法によって測定した。筋厚または皮脂厚とせん断弾性率の関係をピアソンの相関係数検定によって調べた。

< 実験 2 >

筋の弾性と関節の柔軟性との関係を検討するため、腓腹筋内側頭の弾性を超音波エラストグラフィによって測定し、足関節の柔軟性の指標として関節スティフネスを測定した。被検者は健常な男性 26 名および女性 26 名であった。足関節底屈 30° (PF)、中間位 (NE) および背屈 20° (DF) において、腓腹筋内側頭のせん断弾性率を超音波エラストグラフィによって計測した。また、足関節を底屈 30° から背屈 25° まで受動的に背屈させ、関節角度と受動トルクの関係から PF、NE および DF における関節スティフネスを求めた。各関節角度におけるせん断弾性率と関節スティフネスの関係をピアソンの相関係数検定によって調べた。

4. 研究成果

(1) 2012 年度

< 実験 1 >

20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 kPa の組織模倣体を測定した際の CV は、それぞれ 6.9%, 6.6%, 3.5%, 2.9%, 3.3%, 1.7%, 2.9% であった。ICC [1,1] は 0.99 (95% 信頼区間 0.98-1.00) であった。E_{Comp} と E_{US} には有意な相関がみられ (r = 0.996, P < 0.001)、有意な回帰直線 (E_{US} = 0.97E_{Comp} + 2.26, P < 0.001) が得られた。20, 30, 40, 50, 60, 70,

80 kPa の組織模倣体を測定した際の絶対誤差率は、それぞれ 12.1±7.2%, 7.0±4.1%, 2.5±2.4%, 2.0±2.1%, 3.0±1.7%, 1.4±0.9%, 2.0±1.9% であった。これらの結果から、Strain elastography によって筋硬度の絶対値を求める方法の妥当性および信頼性が確認できた。

< 実験 2 >

同時測定から得られた筋形状指標の変動係数 (≤ 7.6%) は、単独測定から得られた値 (≤ 2.4%) よりも有意に高かった (P < 0.05)。また、筋形状指標の級内相関係数は、同時測定 (≥ 0.74) よりも単独測定 (≥ 0.97) において高かった。しかし、筋形状指標の値は同時測定と単独測定の間には有意差がみられなかった (P > 0.05)。これらの結果から、超音波エラストグラフィが筋形状と筋硬度の同時測定に使用できることが示された。

(2) 2013 年度

腓腹筋内側頭および上腕二頭筋の横断面および縦断面におけるせん断波速度を図 3 に示した。両筋のせん断波速度は、横断面に比べて縦断面において有意に高かった (P < 0.001)。このような結果は、両筋が非等方性であることを示すものであり、超音波エラストグラフィを用いて筋の弾性を測定する際には撮像面に注意を払う必要があることが示された。

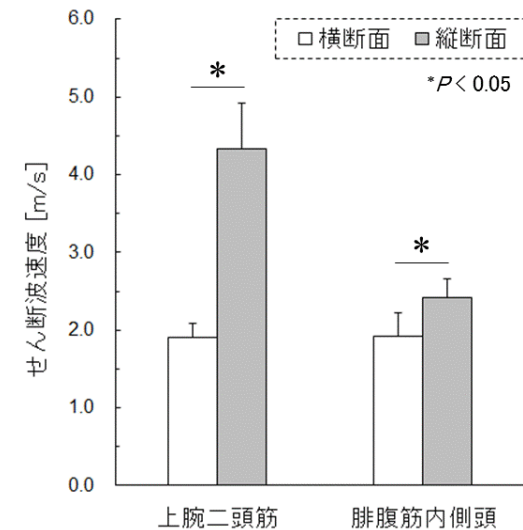


図 3: 超音波エラストグラフィによって測定した上腕二頭筋および腓腹筋内側頭のせん断波速度

(3) 2014 年度

< 実験 1 >

図 4 に筋厚または皮脂厚とせん断弾性率の関係を示したが、筋厚または皮脂厚とせん断弾性率の間に有意な相関係数は認められなかった。このような結果から、超音波エラストグラフィは筋や皮下脂肪の厚さの影響を受けずに筋の弾性を測定できることが明ら

かになった。

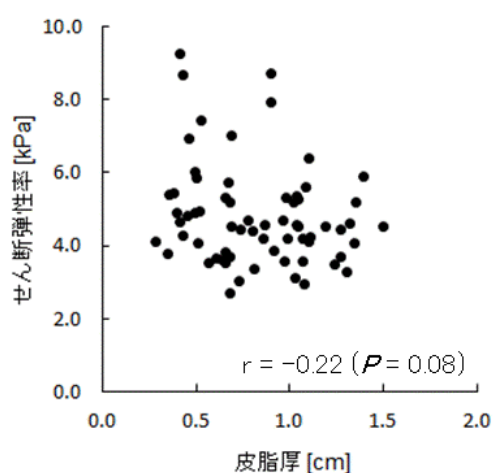
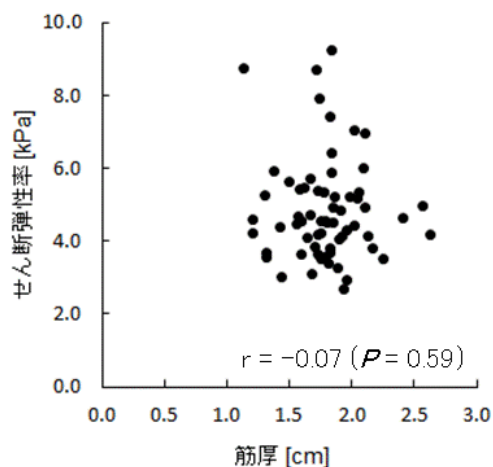


図 4：大腿直筋の筋厚または皮脂厚とせん断弾性率の関係

<実験 2>

せん断弾性率と関節スティフネスの関係を図 5 に示した。全ての関節角度においてせん断弾性率と関節スティフネスの間に有意な相関関係は認められなかった。このことから、関節の柔軟性の個人差は筋の弾性の個人差に起因しないことが示唆された。

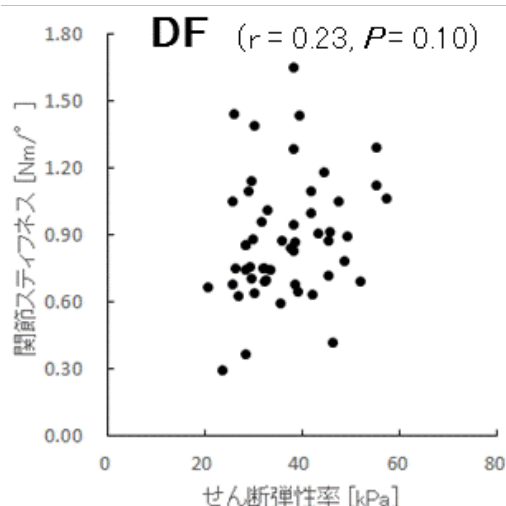
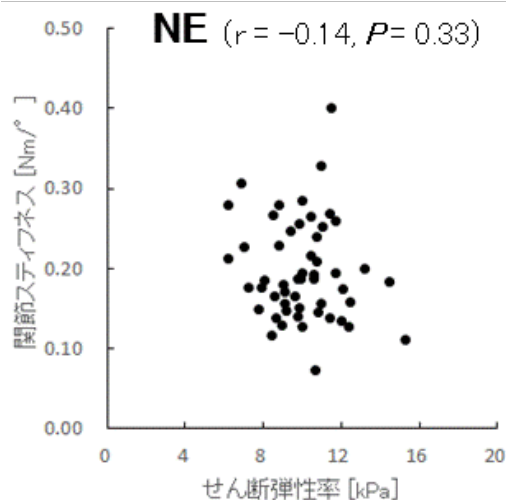
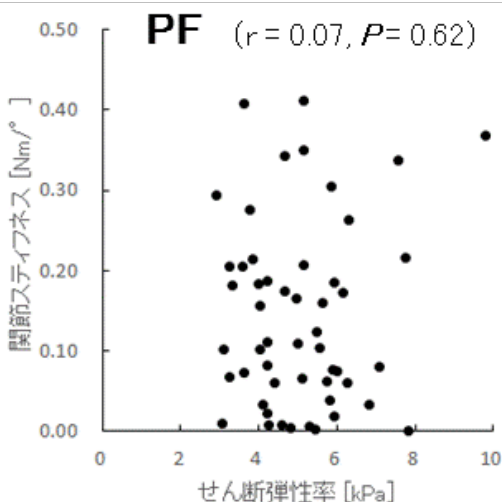


図 5：腓腹筋内側頭のせん断弾性率と足関節のスティフネスの関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

(1) Chino K, Akagi R, Dohi M, Takahashi H. Measurement of muscle architecture concurrently with muscle hardness using ultrasound strain elastography. Acta Radiol 2014; 55(7): 833-839. doi: 10.1177/0284185113507565. (査読有)

(2) Chino K, Akagi R, Dohi M, Fukashiro S, Takahashi H. Reliability and validity of quantifying absolute muscle hardness using ultrasound elastography. PLoS One 2012; 7(9): e45764. doi: 10.1371/journal.pone.0045764. (査読有)

〔学会発表〕(計 2 件)

(1) Kentaro Chino, Emika Kato, Hideyuki Takahashi. Effect of geometric arrangement of muscle bundles on muscle hardness measured by supersonic shear

imaging. American College of Sports Medicine 61st Annual Meeting. 2014年5月27～31日. Orange County Convention Center (オーランド).

(2) 千野謙太郎、赤木亮太、土肥美智子、高橋英幸. 関節角度の変化に伴う筋硬度および筋形状の変化. 第67回日本体力医学会大会. 2012年9月14～16日. 長良川国際会議場、岐阜都ホテル(岐阜).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

千野 謙太郎 (CHINO KENTARO)

独立行政法人日本スポーツ振興センター

国立スポーツ科学センター・契約研究員

研究者番号: 30443245

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし