

超音波エラストグラフィ検査における関心領域の設定が 僧帽筋の筋硬度測定に与える影響

小河 佳織¹⁾*, 大栗 聖由¹⁾, 樋本 尚志¹⁾

¹⁾ 香川県立保健医療大学 保健医療学部 臨床検査学科

要旨

僧帽筋の硬さを超音波エラストグラフィ検査で測定した報告は散見されるものの、ストレインエラストグラフィ検査における僧帽筋内の region of interest (ROI: 関心領域) 設定部位は統一されていない。そこで、本研究では ROI を僧帽筋の厚み中央 1/3 に設定した場合と僧帽筋全体に設定した場合について比較を行い、より隣接組織の影響を受けにくく僧帽筋本来の硬さを反映した値が求められる方法はどちらか検討を行った。若年成人女性 24 名を対象とし、ストレインエラストグラフィ検査を用い 2 種類の ROI 設定についてそれぞれ硬さを表す strain ratio を求めた。その結果、それぞれの strain ratio と筋硬度計値、脂肪厚、筋厚との相関を検討すると、ROI を僧帽筋全体に設定した場合に脂肪厚などの影響を受けることが分かった。また、ROI を筋全体に設定した時よりも、僧帽筋の厚み中央 1/3 に設定した時の方が strain ratio は有意に高いという結果が得られた。以上より、僧帽筋の硬さをストレインエラストグラフィ検査で測定する際には、ROI は隣接組織の影響を受けにくい僧帽筋の中央 1/3 に設定することが望ましいと考えられた。

Key Words: 超音波エラストグラフィ (ultrasound elastography), 僧帽筋 (trapezius muscle), region of interest (ROI: 関心領域)

【はじめに】

肝硬変における肝硬度の評価¹⁾、乳腺における腫瘍の検出²⁾など、生体の持つ「硬さ」の情報はしばしば病気の指標として用いられてきた。近年では筋肉の硬度についても注目が広がっており、短距離走では硬い筋肉を持つアスリートのタイムが良いことが示された報告³⁾や、加齢により筋硬度が低下する報告⁴⁾など、多くの研究が行われている。

古来より、筋肉の硬さの評価には皮膚上から検査者が指を押し込んで硬さを調べる「触診法」が用いられてきた⁵⁾ものの、この手法は主観的であり客観性に欠けるという欠点がある。また、筋硬度計と呼ばれる押し込み式のばねばかりを用いて筋肉の硬度を計測する手法も活用されてきた。この手法は硬さを数値として示すことが

できるが、欠点として押し込むポイントの下部組織全てを反映した数値が出ることで、すなわち筋肉以外の硬さを含んだ値が示されることが挙げられている⁶⁾。

一方で、近年開発された超音波エラストグラフィ検査は超音波を用いて非侵襲的に生体の硬度を測定できる検査法である。客観的であり、生体内における測定部位の設定が比較的自由であるという特徴がある。

超音波エラストグラフィ検査にはいくつかの種類が存在するが、そのうちの一種であるストレインエラストグラフィ法は搭載されている超音波機器も多く、臨床での使用頻度も高い。超音波検査機器のプロブを体表に当てたうえで振動を与え、伝わった振動が対象をどれだけ歪ませるかで硬さを評価する検査法である。柔らかい組織は振動によってよく歪み、硬い組織は歪みにくいという特性を利用して硬度を求めることができる⁷⁾。

*連絡先: 〒761-0123 香川県高松市牟礼町原281番地1 香川県立保健医療大学 保健医療学部 臨床検査学科 小河 佳織
E-mail: ogo@kagawa-puhs.ac.jp

<受付日2023年10月10日> <受理日2024年1月11日>

首や肩の痛みと関連があると考えられている僧帽筋硬度についても、超音波エラストグラフィ検査を用いた研究が行われている^{8,9)}。我々もこれまでにストレインエラストグラフィ法で僧帽筋硬度を測定し、肩こりの自覚症状と比較した報告を行った¹⁰⁾。

多くの研究が行われている一方で、僧帽筋におけるストレインエラストグラフィ法には未だ標準法が存在しない。測定に際しプローブを当てる部位は多くの報告で概ね同じであるものの、僧帽筋内の関心領域 (region of interest: 以下 ROI) の設定部位は統一されておらず、ROI を僧帽筋全体に設定するもの¹¹⁾、僧帽筋の厚みの中央約 1/3 に設定するもの^{8, 12)}などの報告が混在している。

このように研究によって ROI が統一されていないことから、現状ではストレインエラストグラフィ検査を用いた僧帽筋硬度研究間での比較や検証が困難であり、僧帽筋硬度の基準値なども不明なままである。

また、ストレインエラストグラフィ法では測定対象に隣接する組織の硬さが結果に影響すると指摘されており、特に組織同士の境界付近で影響が顕著であると言われている¹²⁾。しかし、ROI の設定部位による差を検討した僧帽筋硬度測定の見解はなく、適切な ROI の検証は行われていない。より適切な ROI の検証によって真の僧帽筋硬度を測定することが可能になれば、僧帽筋硬度研究が一層進展すると考えられる。僧帽筋の疾患や受傷に筋硬度評価という新たな判断基準を導入することにより、患者にとって有益な分類や治療法の選択ができるようになる可能性がある。

そこで我々は、超音波エラストグラフィ検査において ROI を僧帽筋の中央 1/3 に設定した方が隣接組織の影響を受けにくいという仮説をたてた。僧帽筋に対し① ROI を中央の 1/3 のみに設置、② ROI を全体に設置、という 2 つの条件下でストレインエラストグラフィ検査を行い、ROI による筋硬度の差について検討した。また、それぞれの ROI と他のパラメータとの相関について調べた。

【対象と方法】

対象

2020 年 3 月 - 2022 年 9 月に測定を行った、成人女性 24 名 (平均年齢 ± 標準偏差 21.5 ± 1.3 歳) を対象とした。首から肩部における疾患を有する者は対象から除外した。研究内容を説明し、十分なインフォームドコンセントが得られた者に対して検討を行った。なお、本研究は香川県立保健医療大学研究等倫理委員会に承認されている (承認番号 265)。

方法

対象者は上半身にディスプレイブルガウンを着用し、肩部を露出した状態で椅子に腰かけ、安静にして検査を受けた。検査は筋肉の使用頻度を考慮して、利き手側の

肩を対象とした。また、測定者間のバイアスを避けるため、計測は同一検者にて実施した。

①超音波検査エラストグラフィによる strain ratio の測定

超音波検査の対象部位は、第 7 頸椎と利き手側の肩峰を結んだ中間点とし (図 1)、僧帽筋の筋線維に沿ってプローブを配置した。超音波検査機器 (ARIETTA60, 富士フイルムヘルスケア株式会社, 東京, 日本) およびリニアプローブ (12-2MHz) を使用した。基準物質としてゲルパッド (ハイドロエイド φ 120 × 6mm, 日本ビー・エックス・アイ株式会社, 東京, 日本) を用いた。

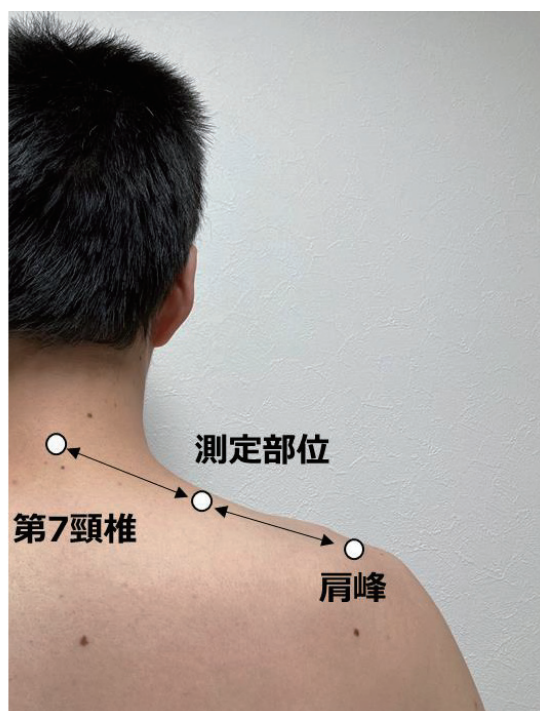


図 1 測定部位 第 7 頸椎と利き手側の肩峰の中間点を測定部位とした。

対象部位の皮膚上にゲルパッドを載せ、その上からプローブを当て B モード法にてアーチファクトがない画像を描出した。次にプローブを垂直に押し込み、約 3Hz の周期で手動的に圧迫・非圧迫を行った。圧迫周期の波の頂点で測定対象である僧帽筋に ROI を設定し (A 領域)、歪みやすさを示す strain 値を求めた (図 2)。また、基準物質であるゲルパッド内に設定した ROI (B 領域) でも同様に strain 値を求めた。基準部位の strain 値を測定対象の strain 値で除した値、すなわち (B 領域の strain 値) / (A 領域の strain 値) が僧帽筋の硬さを示す strain ratio (SR 値) となる。SR 値は高いほど僧帽筋が硬いことを示す。SR 値は連続して 5 回測定し、平均値を検討に用いた。

また、僧帽筋および基準物質の厚み中央 1/3 に ROI を設置したものを ROI (1/3) とした。この ROI (1/3) により求められる strain ratio を SR 値 (1/3) とした。

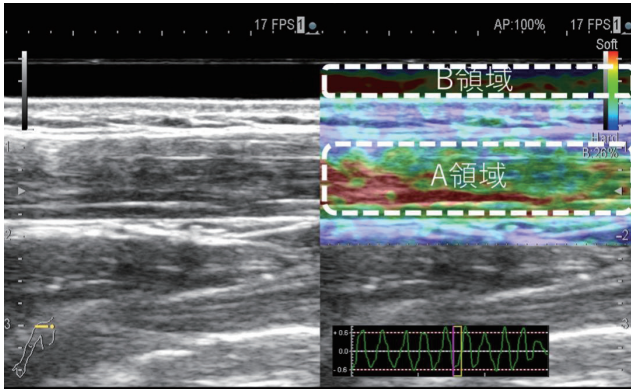


図2 ストレインエラストグラフィ画像

A領域：僧帽筋，B領域：基準物質．B領域の strain 値を A 領域の strain 値で除した値が strain ratio (SR 値) となる

同様に僧帽筋の全体と基準物質の厚み中央 1/3 に設置した ROI を ROI (全体)，それにより求められる strain ratio を SR 値 (全体) とした (図3)．

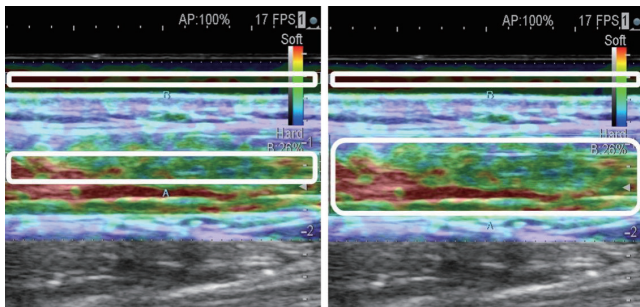


図3 2種類の ROI 比較画像

左：僧帽筋および基準物質の厚み中央 1/3 に ROI を設定．SR 値 (1/3) が得られる．
右：僧帽筋の全体，基準物質の厚み中央 1/3 に ROI を設定．SR 値 (全体) が得られる．

②筋硬度計による硬さの評価

超音波エラストグラフィ検査と同じ第7頸椎と利き手側の肩峰を結んだ中間点を対象とし，検査を行った．TDM-Z1 (RB) (有限会社トライオール，東京，日本) を用い，経皮的に押し当てたハンドルを垂直に押し込むことにより計測を行った．連続して5回測定を行い，平均値を検討に用いた．

③脂肪厚，筋厚

SR 値を求めたものと同じ B モード画像において，表皮下部から僧帽筋の筋膜上部までの距離を測定し脂肪厚とした．また，僧帽筋の筋膜上部から下部までの距離を測定し筋厚とした (図4)．

④体組成

体成分分析装置 (InBody470, 株式会社インボディ・ジャ

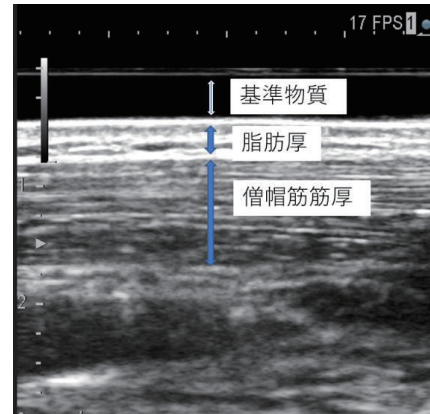


図4 Bモード法による脂肪厚，筋厚の描出

パン，東京，日本) を用い，体重，Body Mass Index (BMI) の測定を行った．

統計処理

SR 値 (1/3) および SR 値 (全体) と各測定値間の相関について，リストワイズ法により検定を行った．また SR 値 (1/3) と SR 値 (全体) の平均の差について，対応のある t 検定を用いて検討した．これらの統計処理には統計解析ソフト JMP ver17 (SAS Institute, キャリー，ノースカロライナ州，USA) を使用した．また，検者内相関について，級内相関係数を用いて検討を行った．統計処理には IBM SPSS Statistics 20 (IBM 社，アーモンク，ニューヨーク州，USA) を使用した．有意水準 $p < 0.05$ で統計的に有意とした．

【結果】

① SR 値 (1/3) と SR 値 (全体) の比較

対象者の身体的パラメータおよび各種検査の結果を表1に示す．SR 値 (1/3) の平均値 \pm 標準偏差は 1.53 ± 0.34 (範囲: 0.91-2.33)，SR 値 (全体) は 1.39 ± 0.33 (範囲: 0.83-2.28) であった．ROI の違いによる SR 値の差を図5に示す．ROI (1/3) の群と ROI (全体) の群を比較すると，前者の方で有意に SR 値が高い (= 硬い) という結果になった．

② SR 値 (1/3) および SR 値 (全体) と他のパラメータとの相関

相関を検討した結果を表2に示す．SR 値 (全体) は，SR 値 (1/3) 及び筋硬度計値以外にも脂肪厚との間に有意な正の相関を示した．しかしながら SR 値 (1/3) は，SR 値 (全体) 及び筋硬度計値とのみ有意な正の相関がみられた．

③検者内信頼性の検討

SR 値 (1/3) および SR 値 (全体) の検者内信頼性を表3に示す．SR 値の ICC(1,5) は 0.62-0.78 であった．

表 1. 身体的パラメータおよび超音波検査値

項目	n=24
年齢 (歳)	21.5 ± 1.3 (21-27)
身長 (cm)	158.4 ± 4.7 (151-169)
体重 (kg)	50.5 ± 7.2 (38.5-65.3)
BMI	20.1 ± 2.4 (16.4-25.5)
SR値(1/3)	1.53 ± 0.34 (0.91-2.33)
SR値(全体)	1.39 ± 0.33 (0.83-2.28)
筋硬度計値	32.1 ± 8.5 (19.6-55.8)
筋厚 (mm)	9.1 ± 1.6 (4.5-12.6)
脂肪厚 (mm)	4.0 ± 1.6 (2.2-9.0)

平均 ± 標準偏差 (最小値-最大値) を示す

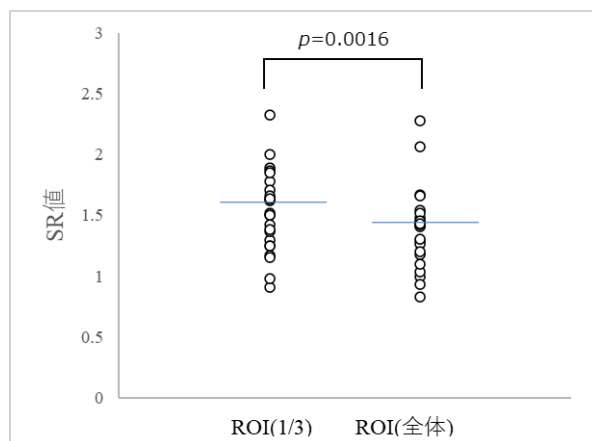
図 5 ROI の設定方法と SR 値との関連
水平線は各群の平均値を示す。

表 2. SR 値 (1/3) および SR 値 (全体) と他のパラメータとの相関

	SR値(1/3)	SR値(全体)	筋硬度計値	筋厚	脂肪厚
SR値(1/3)	<i>r</i>	0.83	0.51	0.10	0.29
	<i>p</i> 値	<0.0001**	0.011*	0.64	0.17
SR値(全体)	<i>r</i>	0.83	0.50	0.04	0.48
	<i>p</i> 値	<0.0001**	0.013*	0.86	0.017*

* $p < 0.05$
** $p < 0.01$

表 3. SR 値 (1/3) および SR 値 (全体) の級内相関係数

	ICC(1,5)	95%CI
SR値 (1/3)	0.62	0.31-0.82
SR値 (全体)	0.79	0.62-0.90

【考察】

今回、ストレインエラストグラフィ検査を用いた僧帽筋硬度測定における、ROI の違いによる筋硬度の差について検討を行った。性別と加齢による影響を避けるため、若年成人女性に限定して検討を行った。SR 値の検者内信頼性は 0.6 を超えており、“substantial” に該当することから信頼性はあると考えられる¹³⁾。僧帽筋および基準物質の厚み中央 1/3 のみを計測対象とした SR (1/3) と、僧帽筋全体および基準物質の厚み中央 1/3 を計測対象とした ROI (全体) の硬さを比較すると、SR (全体) の方が柔らかく、また脂肪厚と有意に相関しているという結果となった。今回の検討によって、我々の「超音波エラストグラフィ検査において ROI を僧帽筋の中央 1/3 に設定した方が隣接組織の影響を受けにくい」という仮説は支持される結果となった。

SR 値に影響を与える因子として①脂肪や筋膜などの筋肉に隣接する組織による影響、②多重反射によるアーチファクトによる影響の二点が考えられる。

体表から圧迫を与える手法について、石川らは隣接する組織の硬さが筋硬度の測定値に影響を与える（硬い組織との境界付近は圧迫により歪みが生じやすく、また柔らかい組織との境界付近は歪みにくくなる傾向がある）と指摘している¹²⁾。今回の検討では、脂肪組織は厚くなるにつれ柔らかさを増し、それに伴って隣接する僧帽筋の上部組織が歪みにくくなり硬さを増したことが考えられた。これにより僧帽筋の中でも脂肪との境界領域の情報を含む、SR (全体) のみが脂肪厚と正の相関を示した可能性がある。

また、今回の検討では SR (全体) は SR (1/3) よりも有意に低値を示した。星川ら¹⁴⁾ は筋線維を覆う筋外膜などの硬さが骨格筋の硬度測定に影響を与える可能性について指摘している。ROI (1/3) は僧帽筋の中央部分の情報のみを含むが、ROI (全体) は周辺組織の情報を多く含んでいる。そのため、僧帽筋の筋外膜などの周辺組織が柔らかであった場合、ROI (全体) は ROI (1/3) と比べて柔らかい部分の情報を多く含むことになる。これによって SR (全体) が SR (1/3) よりも低値となった可能性が考えられた。しかし、超音波エラストグラフィ検査による筋膜など周辺組織の測定は頸部筋膜¹⁵⁾ など一部で始まったばかりであり、僧帽筋における影響について今後さらなる検討が必要であると考えられる。

次に、多重反射の影響について述べる。超音波検査の B モードで測定を行った際、皮下脂肪層は深部に多重反射を生じることが知られている。正確なエラストグラフィ検査を行うためには、アーチファクトのない画像を描出することが重要である。エラストグラフィ検査の一種である shear wave elastography では多重反射の影響により計測値が不正確になることが指摘されており、肝硬度を測定する場合には皮下脂肪層による多重反射の影響を防ぐために ROI は肝表面より 1 ~ 2 cm 下方に設置

すべきとの指摘がなされている¹⁶⁾。ストレインエラストグラフィ検査においても同様にアーチファクトが測定値に影響を及ぼす可能性がある。そのため、脂肪層に近い僧帽筋の上部1/3を測定対象から除外することは、アーチファクトの影響の少ない僧帽筋硬度計測のためには重要であると考えられる。

以上より、ストレインエラストグラフィ検査を用いて僧帽筋の硬度を計測する際には隣接する組織の影響を避けながらなるべく広い範囲の情報を得ることのできる、ROIを筋厚の中央1/3に設定する方法が望ましいと考えられた。

本検討の限界点として、筋肉中の脂肪について評価できていない点が挙げられる。脂肪量の増加に伴って筋肉への脂肪沈着などが生じた場合、僧帽筋自体の硬さに変化が現れる可能性があるため、今後検討を行いたい。

性別や加齢により筋硬度測定に影響する因子が異なる可能性が考えられるため、本検討では対象を若年成人女性のみとしている。今後は男性や広い年齢層を対象に検討を行い、僧帽筋硬度測定における適切なROIの検討を行いたい。

【結語】

僧帽筋硬度評価における超音波エラストグラフィ検査での、ROIの設定部位について女性での検討を行った。ROIを僧帽筋全体とした場合、皮下の脂肪厚との相関がみられることが分かった。僧帽筋硬度測定時のROIは、隣接組織の影響を受けにくく僧帽筋の真の硬さを反映していると思われる、筋肉の中央1/3に設定するのが望ましいと考えられる。

【文献】

- 1) Ozturk A, Olson MC, Samir AE, Venkatesh SK. Liver fibrosis assessment: MR and US elastography. *AbdomRadiol* (NY) 47(9): 3037-3050, 2022.
- 2) Carlsen JF, Hansen KL, Ewertsen C, MB Nielsen. Elastography in Breast Imaging. *Ultraschall Med* 40: 688-691, 2019.
- 3) Miyamoto N, Hirata K, Inoue K, Hashimoto T. Muscle stiffness of the vastus lateralis in sprinters and long-distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 51(10): 2080-2087, 2019.
- 4) Alfuraih AM, Tan AL, O'Connor P, Emery P, et al. The effect of ageing on shear wave elastography muscle stiffness in adults. *Aging Clin Exp Res* 31: 1755-1763, 2019.
- 5) 有馬善貴. 触診法における硬さ情報の客観化. *明治鍼灸医学* 21: 25-49, 1997.
- 6) 村山光義. 押し込み反力計測による筋硬度評価の意義. *バイオメカニズム学会誌* 40(2): 79-84, 2016.
- 7) 松村剛, 椎名毅, 大阪卓司, 脇康治ほか. Real-time Tissue Elastography 技術の開発. *MEDIX* 41: 30-35, 2004.
- 8) Sawada T, Okawara H, Nakashima D, Iwabuchi S, et al. Reliability of trapezius muscle hardness measurement: a comparison between portable muscle hardness meter and ultrasound strain elastography. *Sensors* 20(24): 7200, 2020.
- 9) Salavati M, Akhbari B, Takamjani IE, Ezzati K, et al. Reliability of the upper trapezius muscle and fascia thickness and strain ratio measures by ultrasonography and sonoelastography in participants with myofascial pain syndrome. *J Chiropr Med* 16(4): 316-323, 2017.
- 10) 小河佳織, 大栗聖由, 樋本尚志. 超音波エラストグラフィと筋硬度計による肩こりの評価. *香川県立保健医療大学雑誌* 12: 27-31, 2021.
- 11) Shimoyama D, Shitara T, Hamano N, Ichinose T, et al. Reliability of shoulder muscle stiffness measurement using strain ultrasound elastography and an acoustic coupler. *J Med Ultrason* 48(1):91-96, 2021.
- 12) 石川博明, 村木孝行, 山本宣行. 肩こりの客観的評価—超音波エラストグラフィの可能性—. *整形・災害外科* 58: 875-882, 2015.
- 13) Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33: 159-174, 1977.
- 14) 星川恭賛, 大石隆太, 村成幸. 超音波エラストグラフィの特徴と骨格筋への応用. *山形保健医療研究* 26: 13-26, 2023.
- 15) Liao LR, Pan HH, Diao YX, Xie Y, et al. Reliability of shear-wave elastography in assessing the stiffness of the nuchal fascia and the thickness of upper cervical muscles. *Med Eng Phys* 22: 104039, 2023.
- 16) 石田真美子. ポイントシアウェーブエラストグラフィを用いた肝硬度計測～適正な計測条件と計測の精度～. *超音波検査技術* 42: 285-292, 2017.

Effect of the Region of Interest in Ultrasound Elastography Examination of Trapezius Muscle Stiffness

Kaoru OGO¹⁾ *, Masayoshi OGURI¹⁾ , Takashi HIMOTO¹⁾

¹⁾Department of Medical Technology, Faculty of Health Sciences, Kagawa Prefectural University of Health Sciences

Abstract

Although there are some reports on measuring the stiffness of the trapezius muscle by ultrasound elastography, the region of interest (ROI) has not been standardized. Therefore, in this study, two different ROIs were set: at the central 1/3 of the thickness of the trapezius muscle and the entire trapezius muscle. We then examined which method was less susceptible to the influence of adjacent tissues and could obtain values that reflected the original stiffness of the trapezius muscle. Twenty-four young adult females were included in the study. Using strain elastography, strain ratio, a measure of stiffness, was determined for each of the two ROI settings. The results showed that the correlation between each strain ratio and muscle stiffness values, fat thickness, and muscle thickness revealed that the ROI was affected by fat thickness and other factors when it was set to encompass the entire trapezius muscle. Additionally, the strain ratio was significantly higher when the ROI was set at the central 1/3 of the thickness of the trapezius muscle than when it was set at the entire muscle. This study suggests that when measuring trapezius muscle stiffness by strain elastography, it is recommended that the ROI be set at the central 1/3 of the trapezius muscle, which is less susceptible to the influence of adjacent tissues.

Key Words : ultrasound elastography, trapezius muscle, region of interest (ROI)

*Correspondence to : Kaoru OGO, Department of Medical Technology, Faculty of Health Sciences, Kagawa Prefectural University of Health Sciences, 281-1 Hara, Mure-cho, Takamatsu, Kagawa 761-0123, Japan
E-mail : ogo@kagawa-puhs.ac.jp