

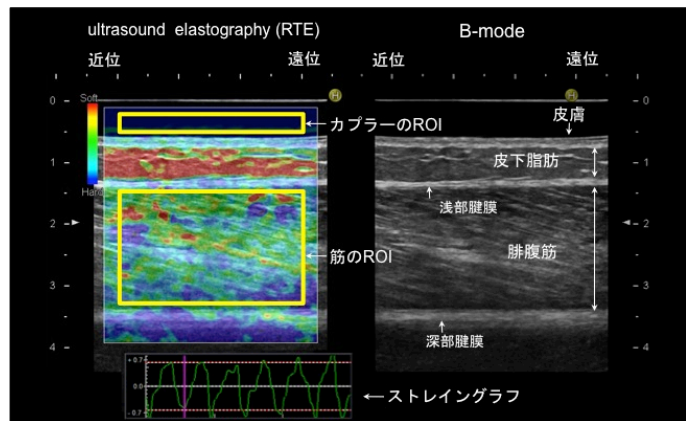
活動報告書

- 平成 25 年度国際交流助成（海外渡航）
- Assessment of muscle stiffness using elastography
- 稲見崇孝（Visiting Research Fellow）
- School of Exercise and Health Sciences, Edith Cowan University (Australia)

【背景】

ヒト生体組織の硬度は、日常の生理的刺激（負荷・疲労等）や種々の傷害によって変化し、特に筋においては場合によってスポーツ競技のパフォーマンス低下を引き起こす。筋の硬度変化は、容易に触診することができるが、けいれんや疲労、腫脹、コンパートメント症候群などをはじめとした種々の状況によってその硬度は変化すると理解させている。そのため、客観的かつシンプルな筋硬度評価が重要といえる。筋硬度は、“垂直圧力に対し筋によって提供される抵抗力”として定義されており^{1,2}、従来、その客観的な測定として加圧時の力-変位関係を評価する押圧法^{1,2}や機器を体表から押し込む筋硬度計³などにて研究が行われてきた。幾つかの研究は、筋硬度と筋収縮強度の関係を調査し、これらの研究において低強度から中強度の収縮における両者の関係を直線的であり^{1,4}、高強度の収縮においては非線形（横ばい）になることが明らかとなっている⁵。しかしながら、これらの評価方法において、皮下脂肪と筋、双方の硬さを反映するという問題点が指摘されている。

近年、乳腺や甲状腺などの領域において、超音波エラストグラフィが癌などの潰瘍診断として活用されている。異なる原理によっていくつかの技法が存在し、MR elastography や shear wave elastography、real-time tissue elastography (RTE) として知られる strain elastography などがある。RTE は、体表からの微弱な押圧操作に対する組織変位をひずみ画像として表示し、組織の弾性分布を反映する技術であり、従来の超音波 B モード画像に重ねて表示することにより詳細な位置情報を得ることもできる。測定は非侵襲的かつ客観的に行われ、やわらかい組織は赤く、硬い組織は青く画面に表示される（右図）。また、画像内に 2 つの測定範囲（range of interest: 以下 ROI）を設定し、両者のひずみ比を算出することで組織硬度の定量的な評価が可能となる。



超音波エラストグラフィの技術を用いて、筋収縮中の筋硬度変化を評価した研究は少なく、従来の測定法と同様に低強度から中強度の収縮においては直線関係を有することが明らかとなっている^{6,7}。しかしながら、高強度の収縮における反応については未だ不明の点が多く、筋硬度が筋の何を反映しているかは定かではない。

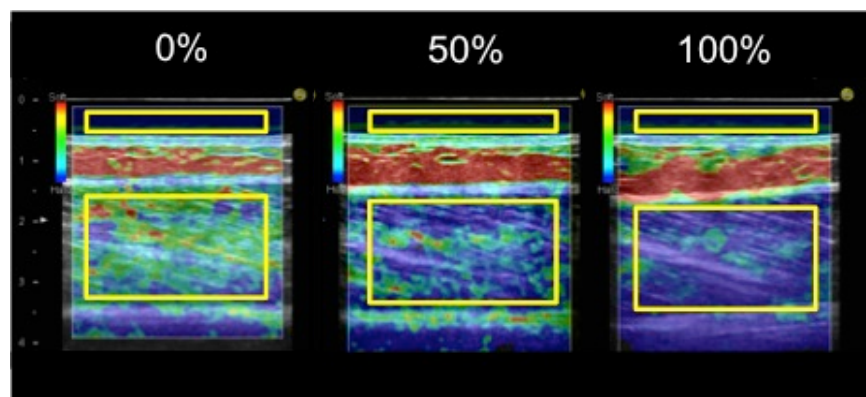
今回の留学の目的は、RTE の基礎理論を再考し、RTE による筋硬度の定量的評価に関する基礎的研究を行うことである。具体的には、上述の課題をふまえ、低強度から高強度までの筋収縮中における筋硬度を RTE にて評価し、これに関連する要因を検討することである。

【対象と方法】

健康成人女性 15 名（30 肢）を対象とした。平均年齢は 21.2 ± 0.4 歳、平均身長は 157.5 ± 3.2 cm、平均体重は 53.5 ± 3.6 kg であった。対象筋は左右の腓腹筋とし、足関節の等尺性最大底屈筋力（maximum voluntary contraction：以下 MVC）に対する 0%（安静）、25%、50%、75%、100%（MVC）の合計 5 段階の収縮強度を設定した。被験者は、ベッド上で伏臥位になり（ベッドサイドに足首のみを垂らした状態）、筋力測定用のコンピュータに出力されるモニタを見ながら 5 秒間筋力を維持した。RTE は、膝膝窩皮線と足関節外果を結んだ線の近位 30%の位置⁸にて腓腹筋内側頭を同定し、超音波画像診断装置（日立アロカメディカル社製 Hi-vision Ascendus、日本）に専用の音響カプラー（日立アロカメディカル社製 EZU-TECPL1、日本）を取り付けたリニアプローブ（日立アロカメディカル社製 EUP-L65、日本）を介して測定を行った。音響カプラーはエラストマー樹脂でできた弾性率が 22.6kPa の外部レファレンスであり、内蔵の strain ratio 機能（以下 SR）で算出される対象筋との比（muscle / coupler）は、筋がやわらかい場合に高い値を示し、反対に硬い場合は低い値となる。また、同時に得られる超音波 B モード画像から筋束と深部腱膜のなす角（羽状角）と筋厚についても測定項目に加えた。

【結果】

RTE の画像は、筋収縮強度の上昇にともない筋エリアが青く変化した。代表的な変化を示した症例の一部を下図に示す。SR の値は、低強度から中強度にかけて直線的に減少し、高強度で横ばいとなる非線形の関係を示した。また、SR は羽状角および筋厚とも有意な関係を示し、RTE による筋硬度測定はこれらの要素を含んでいた。この詳細については統計学的な解析を行った後、論文を作成する予定である。



【まとめ】

今回の留学に際しまして、海外渡航助成をいただきました中山人間科学振興財団に御礼申し上げます。留学中は、超音波エラストグラフィの基礎理論のみならず、筋生理学やスポーツ医学に関する多くの知見を学ぶ機会があり、これを応用して日本で実施していた研究内容を付加的に装飾することができた。最後に、海外生活を支えてくれた家族に感謝の意を表します。

【文献】

1. Horikawa M, Ebihara S, Sakai F, Akiyama M. Non-invasive measurement method for hardness in muscular tissues. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 31: 623-627, 1993.
2. Murayama M, Watanabe K, Kato R, Uchiyama T, Yoneda T. Association of muscle hardness with muscle tension dynamics: a physiological property. *European Journal of Applied Physiology*, 112: 105-112, 2012.
3. Yanagisawa O, Niitsu M, Kurihara T, Fukubayashi T. Evaluation of human muscle stiffness after dynamic exercise with ultrasound real-time tissue elastography: A feasibility study. *Clinical Radiology*, 66: 815-819, 2011.
4. Leonard CT, Deshner WP, Romo JW, Suoja ES, Fehrer SC, Mikhailenok EL. Myotonometer intra- and interrater reliabilities. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84: 928-932, 2003.
5. Morisada M, Okada K, Kawakita K. Quantitative analysis of muscle hardness in tetanic contractions induced by electrical stimulation in rats. *European Journal of Applied Physiology*, 97: 681-686, 2006.
6. Yoshitake Y, Takai Y, Kanehisa H, Shinohara M. Muscle shear modulus measured with ultrasound shear-wave elastography across a wide range of contraction intensity. *Muscle and Nerve* 2013; Epub ahead of print.
7. Nordez A, Hug F. Muscle shear elastic modulus measured using supersonic shear imaging is highly related to muscle activity. *J Appl Physiol* 2010; 108: 1389-1394.
8. Kawakami Y, Muraoka T, Ito S, Kanehisa H, Fukunaga T. In vivo muscle fibre behavior during counter-movement exercise in humans reveals a significant role for tendon elasticity. *Journal of Physiology*, 540: 635-646, 2002.