

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25750323

研究課題名(和文)超音波エラストグラフィ法による筋活動評価に基づく体幹深層筋群強化プログラムの構築

研究課題名(英文) Development of trunk deep muscle training program based on the muscle activity evaluated by ultrasound elastography

研究代表者

平山 邦明(Hirayama, Kuniaki)

早稲田大学・スポーツ科学大学院・准教授(任期付)

研究者番号：20610447

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)：本研究では、超音波エラストグラフィ法を用いて体幹深部筋の筋硬度を測定し筋活動を推定すること、さらに体幹深部筋の強化方法を構築することを目的とした。腹横筋の筋硬度を超音波エラストグラフィ法で定量する際の再現性については、中程度～高い信頼性があることが確認された。また、腹横筋の筋硬度はブレイシング時に特に高くなった。しかし、ブレイシングを用いた介入で運動パフォーマンスの向上は見られなかった。

研究成果の概要(英文)：In this study, we aimed to estimate the muscle activity by measuring the muscle hardness of deep layered trunk muscle using ultrasound elastography, and to develop a strengthening method of the muscle. We confirmed moderate to high reliability of the ultrasound elastography to quantify transversus abdominis hardness. In the transversus abdominis the muscle hardness was particularly high during bracing maneuver. However, no improvement of exercise performance was found after an intervention using bracing maneuver.

研究分野：トレーニング科学

キーワード：超音波エラストグラフィ 腹横筋 ブレイシング

1. 研究開始当初の背景

脊柱の支持やコントロールにおいて体幹深層筋が重要な役割を果たすと考えられている。例えば、腹筋群の最深部に位置する腹横筋は、上肢の素早い拳上運動を行う際に、主働筋である三角筋よりも早く活動することで脊柱の支持に寄与していると考えられている。さらに、その予測的活動は腰痛患者では遅れることが確認されている。このような知見に基づき、腹横筋など体幹深層筋の活動促進や強化を促すエクササイズがリハビリテーションに取り入れられてきている。最近では、リハビリテーションだけでなく、運動パフォーマンス向上を意図したトレーニングにもこのようなエクササイズが取り入れられているが、その効果やメカニズムに関するエビデンスは乏しい。

エビデンスが乏しい原因として、体幹深層筋の活動を定量することが容易ではないことが挙げられる。腹横筋はその表層を外腹斜筋と内腹斜筋によって覆われており、表面筋電図法でその活動を定量化することが難しい。ワイヤ筋電図法やBモード超音波法が腹横筋の活動の定量に用いられるが、それぞれ侵襲性や妥当性の問題がある。

超音波エラストグラフィ法は、筋硬度を測るものであるが、筋硬度と筋張力や筋電図活動には強い関連があり、筋硬度の値を用いて筋の発揮張力や活動レベルを推定することが可能である。また、下腿三頭筋を対象にした研究によって、この方法は深部に位置する筋に対しても有効であることが示唆されている。

2. 研究の目的

本研究課題では、以下の3つの課題に取り組むこととした。

- (1) 超音波エラストグラフィ法を用いた腹横筋の筋硬度測定方法の信頼性検討
- (2) 腹横筋の筋硬度(筋活動の指標)を特に上昇させるエクササイズの検討
- (3) 腹横筋の筋硬度を上昇させるエクササイズが運動パフォーマンスに与える影響の検討

3. 研究の方法

(1) 10名の健康な男性を対象に、超音波エラストグラフィ法による腹横筋筋硬度測定の検者内および検者間の再現性を検討した。1名の被験者につき、24時間間隔で2回測定を行った。2回の測定のいずれにおいても、熟練者と非熟練者の2名の測定者が測定を行った。被験者にはベッド上で安静仰臥位をとらせた。測定部位(臍の右側、腋下線から2cm内側)を油性ペンでマークした。このマークは2回目の測定が終了するまで消さなかった。

被験者には、自然に呼吸し、息を吐き終わった時に息を止めるよう指示し、息を止めている間に測定を行った。

測定部位における腹横筋の筋せん断波速度を、超音波装置(Aixplorer, SuperSonic imagine, Aix-en-Provence, France)で得られたせん断波エラストグラフィ画像から得た。11Hzの電子コンベックスプローブ(SuperCurved 6-1, SuperSonic imagine, Aix-en-Provence, France)を、身体の長軸に対して横方向にして(腹横筋の筋線維の走行方向に沿って)測定部位に当てた。6回測定を行い、その中から組み合わせた時に変動係数が最も小さくなる4つの数値の平均値をその後の分析に用いた。これらの測定は、ランダムな順序で熟練者と非熟練者によって行われた。

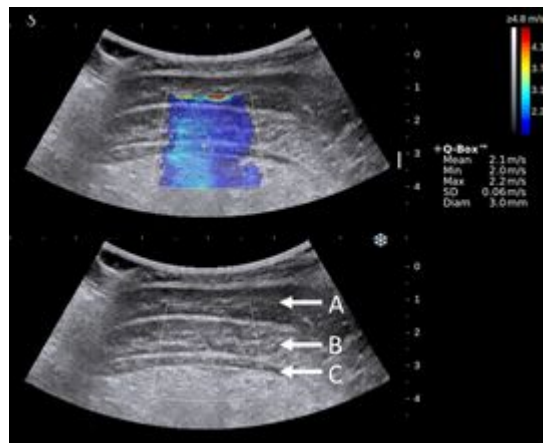


図1 超音波エラストグラフィ法を用いた腹横筋の筋硬度計測

A: 外腹斜筋、B: 内腹斜筋、C: 腹横筋を表す。色が青に近いほど筋硬度が低く、赤に近いほど高いことを示す。

(2) 10名の健康な若年男性を対象に、7つのエクササイズ中の腹横筋筋硬度を定量した。被験者には図2に示すエクササイズをランダムな順序で行わせた。これらのエクササイズ中に自然に呼吸し、息を吐き終わった時に息を止める(約5秒間)よう指示し、息を止めている間に測定を行った。これらのエクササイズの前後に安静時の筋硬度も測定した(図3)。

測定部位における腹横筋の筋硬度を、超音波装置(同上)を用いて測定した。電子コンベックスプローブ(同上)を、身体の長軸に対して横方向にして(腹横筋の筋線維の走行方向に沿って)測定部位に当てた。代表値は、各エクササイズについて6回測定したうち、組み合わせた時の変動係数が最も低くなる4回の平均値とした。



図2 実施した7つのエクササイズ

1: ホローイング(ドローイン) 2: プレーシング、3: ハンギング・デッドリフト、4:ブリッジ運動(左手・右足挙上) 5: ブリッジ運動(右手・左足挙上) 6:バックブリッジ(右足挙上) 7:バックブリッジ(左足挙上)

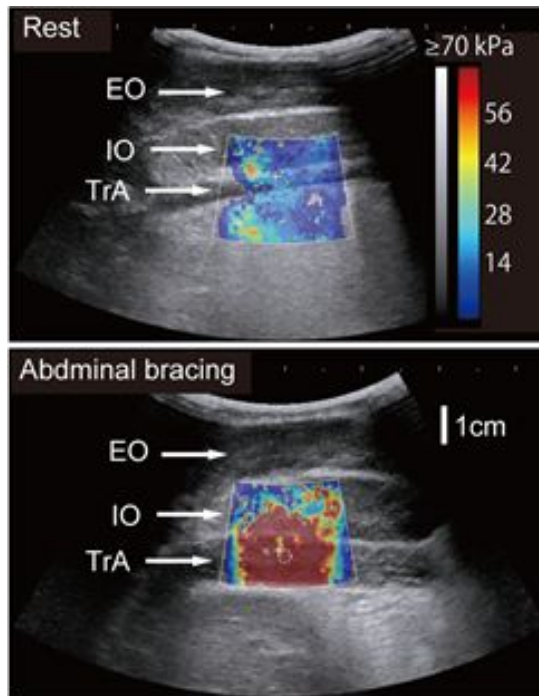


図3 安静時(上図)とプレーシング時(下図)の超音波エラストグラフィ画像の典型例 EO:外腹斜筋、IO:内腹斜筋、TrA:腹横筋を表す。色が青に近いほど筋硬度が低く、赤に近いほど高いことを示す。

(3)被験者にストレインプレート(ストレインプレート、DKH社製、東京、日本)上で連続リバウンドジャンプを行わせ、プレーシングを用いた介入が与える影響について検討した。ジャンプパフォーマンスの指標はリバウンドジャンプ・インデックス(RJ-index:滞空時間/接地時間)とした。まず、課題運動に慣れさせるため、連続リバウンドジャンプ(6回連続)を数セット行わせた。RJ-indexが増加しなくなったことを確認したあと、プレーシングをした状態で連続リバウンドジャンプを行わせた。さらに、プレーシング(10秒×3セット)を仰臥位で行い、その後意識的にプレーシングをしない状態で連続リバウンドジャンプを行わせた。

4. 研究成果

(1)熟練者が測定した腹横筋の筋せん断波速度は1日目: 2.1 ± 0.6 m/s、2日目: 2.1 ± 0.6 m/sであり、両者に統計的な差はなかった。1日目と2日目のICCは0.86 ($p < 0.00$, 95%信頼区間 = 0.57~0.96)、CVは8.7%であり、系統誤差は認められなかった(図2上図)。未熟練者が測定した腹横筋の筋せん断波速度は1日目: 2.3 ± 0.6 m/s、2日目: 2.3 ± 0.5 m/sであり、両者に統計的な差はなかった(図2上図)。1日目と2日目のICCは0.59 ($p = 0.02$, 95%CI = 0.14-0.88)、CVは±13.8%であり、系統誤差は認められなかった。測定者間のICCは1日目: 0.57 ($p = 0.03$, 95%CI = 0.11-0.87)、CV = ±15.5%、2日目: 0.56 ($p = 0.02$, 95%CI = 0.01-0.87)、

CV = ±13.5 %、で、系統誤差は認められなかった(図2 下图)。

腹横筋は腹部筋群の中で最も深層に位置するため、本研究では、リニアプローブより深層を映し出すことができるコンベックスプローブを用いた。製造元によると、コンベックスプローブには筋骨格系のプリセットはないが、弾性が200kPaまでの柔らかい組織であれば、測定に大きなエラーはないとのことであった。しかし、本研究では、正確性を期し、結果を弾性ではなく速度で示した。

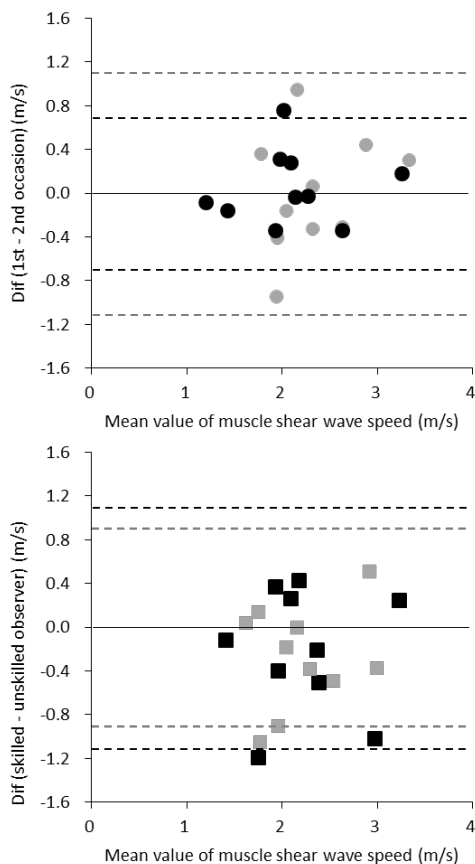


図4 検者内(上图)および検者間(下图)の再現性(Bland-Altmanプロット)

黒色:熟練者、灰色:未熟練者を表す(上图)。黒色:1日目、灰色:2日目を表す(下图)。点線:1.96標準偏差を表す。

我々が知る限り、本研究が体幹深層筋の筋硬度を超音波エラストグラフィ法を用いて定量した最初の研究である。超音波エラストグラフィ法の熟練者においては、日間の級内相関係数(ICC)が0.86(almost perfect)であり、高い信頼性が確認された。この結果は、熟練者が行った場合、超音波エラストグラフィ法は、深層の筋であっても高い信頼性をもつ方法であることを示している。一方、超音波エラストグラフィ法に熟練していない測定者でさえ、ICCは0.59(moderate)であり中等度の信頼性を以って測定することが

できたことは、超音波エラストグラフィ法が体幹深層筋の簡便な測定方法であることを物語る結果かもしれない。ICCが高かった(もしくは中程度だった)にもかかわらず、変動係数がやや高かった(熟練者:8.7%、非熟練者:13.8%)のは筋せん断波速度の値が小さい(平均で2.1~2.3m/s)ためであろう。わずかに変動係数が高いことを以って信頼性が低いと考えるべきではない。

測定者間の比較においては、系統誤差は認められなかったものの、ICCはmoderateであった。この結果は、超音波エラストグラフィ法に熟練していない測定者の技術不足によることであると考えられる。熟練者同士の比較がないため、本研究から測定者間の信頼性については結論することはできないものの、少なくとも一人の熟練した測定者が測定を担当した場合は、高い信頼性を以って測定を行うことが可能であることが示唆された。

(2)各エクササイズにおける筋硬度の級内相関係数は全て統計的に有意であった。プランクエクササイズ(右手・左足挙上)を除いては、級内相関係数の値が0.89以上であり、“almost perfect”と評価される値であった。7種類のエクササイズの測定前後に測った安静時の筋硬度には有意な変化は見られなかった(エクササイズ前:14.1 ± 6.5 kPa、エクササイズ後:13.6 ± 6.3 kPa)。プレーシングは、ハンギング・デッドリフトを除いた他のエクササイズよりも高い筋硬度を記録した(図5)。

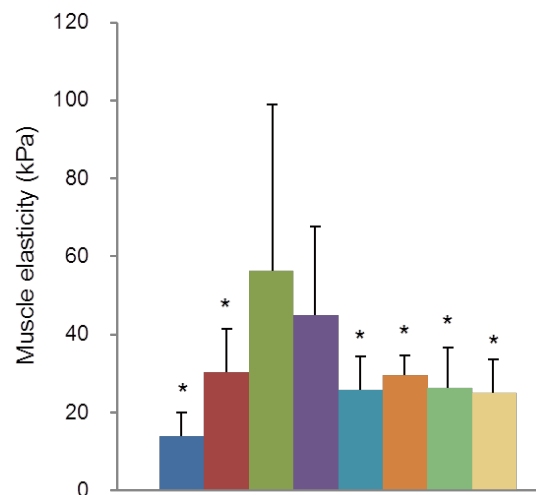


図5 安静時およびエクササイズ中の腹横筋筋硬度

左から安静、ホローイング(ドローイン)、プレーシング、ハンギング・デッドリフト、プランクエクササイズ(左手・右足挙上)、プランクエクササイズ(右手・左足挙上)、バックブリッジ(右足挙上)、バックブリッジ(左足挙上)

先行研究において、ホローイング時よりもプレーシング時の方が体幹の安定性が高いことが報告されている。プレーシングでは、腹横筋だけでなく、外腹斜筋などのいわゆる

“グローバル筋”も活動し、体幹の高い安定性に寄与していると考えられる。本研究の結果は、それに加え、腹横筋の高い筋活動がプレーシング時の高い体幹の安定性に関係していることを示唆するものかもしれない。デッドリフトは、体幹屈曲を強制する代表的なストラクチャルエクササイズである。腹横筋の高い緊張は、胸腰筋膜の張力の増加や腹腔内圧の上昇を介して体幹屈曲に抗するストラテジーなのかもしれない。本実験において、ハンギング・デッドリフトを行う際、特別なインストラクションを与えなかった。このことから、健康な被験者であれば、腹横筋の筋活動を上昇させるための注意を払わなくても自然に腹横筋を活動させることができることも示唆された。

なお、本実験において級内相関係数は1つのエクササイズを除いて“almost perfect”であった。残りの1つのエクササイズの級内相関係数も“Substantial”と評価された。このことから、本研究は高い再現性を以って行われたと考えられる。また、7種類のエクササイズ前後に測った安静時の筋硬度に、実験前後で変化はなかった。このことから、本研究で観察された筋硬度の値は、運動を繰り返したことによって起こり得る筋の力学的特性の変化を反映したものではないと考えられた。

(3) プレーシングをした状態で連続リバウンドジャンプを行った時、RJ-index は、何も意識しないジャンプよりも低かった。プレーシングを10秒×3セット行った後の連続リバウンドジャンプのRJ-index は、最初に何も意識しないで行った練習の最後と大きな差がなかった。プレーシングを行うことで(体幹部の剛性が増し) RJ-index が向上するという仮説は棄却された。被験者の感想として、プレーシングを行うことでジャンプに集中できなかったという声が多く聞かれた。このことから、プレーシングを意識的に行うと課題がデュアルタスクとなってしまうパフォーマンスを下げることにつながったのではないかと考えられた。また、仰臥位でのプレーシング後にRJ-index が向上しなかったことから、本研究で用いた被験者(腰部疾患を持たない者)・プロトコルではプレーシング介入の急性効果が見られないことが明らかとなった。

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1件)

Hirayama K, Akagi R, Takahashi H. Reliability of ultrasound elastography for the quantification of transversus abdominis elasticity. Acta Radiol Open. 2015 Sep 8;4(9):2058460115603420 doi: 10.1177/2058460115603420 査読有り

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平山 邦明 (HIRAYAMA, Kuniaki)

早稲田大学・スポーツ科学学術院・准教授

(任期付)

研究者番号：20610447