

骨格筋の外的圧迫は 筋伸長ストレスを低減させるか？

札幌医科大学 谷口圭吾
(共同研究者) 同 小出所大樹
同 加藤拓也
同 横山祐
同 齋藤佑平

Does External Compression of Skeletal Muscle Reduce Passive Muscle Elongation Stress?

by

Keigo Taniguchi, Taiki Kodesho,
Takuya Kato, Yu Yokoyama, Yuhei Saitoh
Sapporo Medical University

ABSTRACT

External compression with a support belt has been used as a means of preventing the development of disability and recurrence of muscle injury. However, the effect of external compression on passive muscle elongation stress has not been fully demonstrated. Muscle elasticity obtained by ultrasound shear wave elastography is highly reflective of the passive force generated by muscle elongation ($R^2 = 0.99$). To investigate the effect of external compression by a support belt on muscle elasticity and to examine whether local compression is useful in reducing the elongation stress of skeletal muscles.

Methods: The muscle elasticity of the rectus femoris (RF) muscle of 11 healthy males was measured using shear wave elastography (Aixplorer Ver.12, 10-2 MHz

linear probe) under three conditions: 40 mmHg compression with a support belt, sham condition, and control condition. We set the wearing conditions to a random order. Measurements were performed in three positions: 0°, 60°, and 120° of knee flexion at the neutral hip position. We set the order of knee flexion to 0°, 60°, and 120° to eliminate the effect of stretching. Muscle elasticity was measured at two points: the proximal (33% RF lengths) at the support belt wearing site and the distal (66% RF lengths) non-wearing site.

Results: The proximal muscle elasticity showed an interaction between knee angle and wearing condition and was significantly lower in the compression condition at 40 mmHg pressure than in the control condition at 120° of knee flexion (137.8 ± 42.7 v.s 168.5 ± 64.1 kPa, -17.8%, $p = .002$). The elasticity of the sham condition at the proximal (120°: 147.7 ± 39.0 kPa) did not differ from that of the control and 40 mmHg compression conditions at all knee angles. Distal muscle elasticity showed only the main effect of knee angle, not the main effect of wearing condition and interaction (120; Support belt: 126.1 ± 53.2 , Control: 146.3 ± 78.0 , Sham: 128.5 ± 50.0 kPa).

Conclusions: Compression of 40 mmHg reduced the muscle elasticity at muscle elongation by about 18% compared to the control condition. External compression by the support belt suppresses the increase in muscle stress at the wearing site due to muscle elongation.

要 旨

サポーターによる外的圧迫は傷害発生を予防する手段として広く用いられているが、傷害に係る筋力学ストレスの軽減効果は十分に実証されていない。本研究の目的はサポーターによる外的圧迫が筋弾性に与える影響を検討し、局所圧迫が骨格筋の伸長ストレス軽減に有用であるか検討することである。若年健常男性11名の大腿直筋を対象にサポーターによる40mmHgの圧迫を加える条件とシャム条件、コントロール条件の3つにおいてせん断波エラストグラフィを用いて近位の着用部および遠位の非着用部における筋弾性を測定した。近位の筋弾性は膝角度と着用条件に有意な交互作用を認め、膝屈曲120°において40mmHg圧迫条件の弾性率がコントロール条件よりも有意

に低値を示した ($p < 0.05$)。非着用部の遠位における筋弾性には膝角度の主効果のみを認め、着用条件の主効果および交互作用はみられなかった。以上より、サポーターによる外的圧迫は着用部位の力学ストレスを軽減する可能性が示唆された。

緒 言

下肢の筋損傷は競技を問わず発生するスポーツ傷害である。筋損傷はハムストリングス、大腿直筋、腓腹筋などの二関節筋に好発し、高い再発率を有することから、再発予防を含めた傷害予防が重要な課題である。損傷部位や競技特性により様々な予防法が論じられているが、そのうちの1つとして柔軟性の獲得や筋疲労の除去といった、筋の負荷軽減および筋コンディショニングが重要と考えられる。

サポーターは障害の発生や筋損傷の再発を予防する手段として一般に広く用いられている。その作用機序と考えられる骨格筋の圧迫によって筋張力発揮の効率化や筋疲労の軽減が生じることは示されつつあるが^{1,2)}、障害発生に関係する筋力学ストレスの軽減効果は十分に実証されていないのが現状である。近年開発された超音波せん断波エラストグラフィは硬さの指標である弾性率を非侵襲的・定量的に評価可能な技術であり、筋弾性-受動張力の強い相関関係から（決定係数 $R^2 = 0.99$ ）、骨格筋のストレス推定に有用とされている^{3,4)}。先行研究⁵⁾において、デローディングテーピングという局所への外的圧迫を加える手技によって、筋伸長時および収縮時の大腿直筋弾性が低下したことが報告されており、外的圧迫により力学的な筋ストレスが減少する可能性が示唆された。しかし、サポーターによる外的圧迫が筋弾性に与える影響は未だ明らかになっていない。

本研究の目的はサポーターの着用による外的圧迫が安静時および筋伸長時の大腿直筋弾性に及ぼす影響を検討し、外的圧迫が受動的な筋力学ストレスに与える効果を明らかにすることとした。

1. 研究方法

1.1 対象

被験者は若年健常男性11名（年齢： 22.2 ± 2.7 歳，身長： 175.6 ± 6.3 cm，体重： 65.9 ± 7.0 kg，平均値 \pm 標準偏差）とした。除外基準は大腿直筋損傷や下肢の骨折、手術の既往を有する者、測定時に下肢に疼痛等の症状を有する者とした。実験に先立ち、本実験の概要、目的、実験に伴う危険性について説明し、書面において同意を得た。なお、本実験は札幌医科大学倫理委員会の承認を受けた研究として実施した（No. 30-2-26）。

1.2 実験手順

本研究は、室温を一定（22-24℃）に保った実験

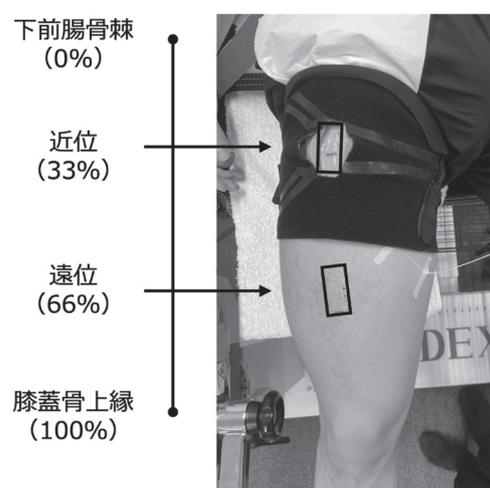


図1 サポーター装着および弾性計測位置

室にて測定を行った。測定の事前準備として、サポーター着用位置および超音波せん断波エラストグラフィでの弾性測定部位を同定するため図1のように大腿直筋の起始と停止を結んだ線を3等分する2点を皮膚上にペンでマーキングした。マーキングした2点のうち、近位の点（全長の33%）をサポーター着用位置および弾性計測位置、遠位の点（全長の66%）は弾性計測のみの位置とした。

上記の準備終了後、被験者は多用途筋機能評価運動装置（BIODEX system4、酒井医療機器社）に股関節中間位の背臥位となり、測定側の下腿をダイナモメーターに固定した（図2）。運動範囲は膝関節屈曲 0° 、 60° 、 120° の3条件とした。膝屈曲条件は組織へのストレッチング効果を排除するため、全例で大腿直筋の短縮位である 0° から 60° 、 120° の順で実施した。

サポーターの着用条件は着圧測定器にて設定した40mmHg圧にて外的圧迫を行う圧迫条件とサポーターを着用しないコントロール条件に加え、圧の加えない状態でサポーターを着用するシャム条件の3つとした。弾性計測2ヶ所、着用条件3条件における測定順序は、順序効果を排除するために、無作為な順番で測定を行った。

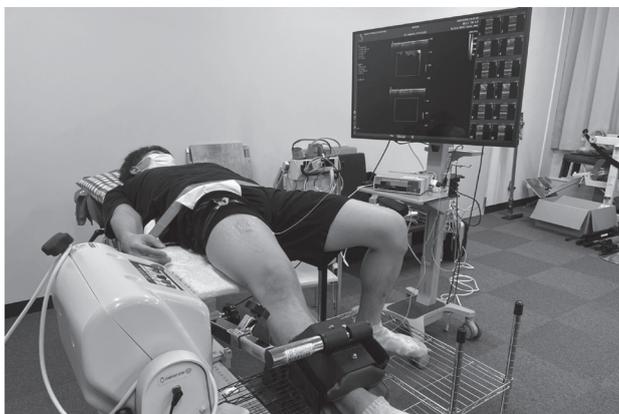


図2 実験風景

1. 3 着用条件

大腿サポーターは既製品（ザムスト FILMISTA THIGH, 日本シグマックス社）を使用した。サイズは、メーカーのサイズ規定に従い、大腿周径よりM, Lの2種類から決定した。また、運動課題中に筋の弾性を測定するため、プローブと同程度のサイズのスリットを設け、測定部位と一致するよう調整し、装着した（図2）。サポーターの圧迫強度はエアバック式接触圧測定器（AMI3037-SB, エイムアイ・テクノ社）を使用して着圧条件では40mmHg, コントロール条件およびシャム条件では0mmHgとなるよう調整した。

1. 4 筋弾性

筋弾性はせん断波エラストグラフィ機能を搭載した汎用性超音波診断装置（AixPlover Ver.12 MSK mode, SuperSonic Imagine, Aix-en-Provence社）およびニアプローブ（50 mm, 10-2 MHz）を用いて測定した。撮像位置は大腿直筋の起始と停止（下前腸骨棘-膝蓋骨上縁）を結んだ線を3等分する2点のうち、近位33%の点を近位領域、遠位33%の点を遠位領域とした（図1）。超音波プローブは長軸方向に配置し、超音波Bモード像上で観察される血管、神経および筋内腱を除き、大腿直筋の筋線維が明瞭に映るようプローブを操作した。弾性カラーマップは筋膜を除いた筋実質部

の表層に配置した（図3）。筋弾性の解析は画像解析ソフト（S-17115 Ver1.3.0 竹井機器工業社）を用いて行った。弾性画像のカラーマップに縦8～15mm, 横15mmの矩形領域を設定し、その内部のヤング率の計測値を3で除すことでせん断弾性率（kPa）を算出した。プローブ操作、弾性画像の撮像および解析は全て1名が行った。

1. 5 統計処理

統計処理にはIBM SPSS Statics 25.0を用い、有意水準は5%とした。すべての項目は平均値±標準偏差として提示した。分散分析に先立って、Mauchlyの球面性検定を用いて分散および共分散の一様性を検定した。この検定が棄却された場合、Greenhouse-Geisserの方法を用いて自由度の修正を行った。サポーター着用が筋弾性に与える影響を検討するため、各測定部位のせん断弾性率において繰り返しのある二元配置分散分析（着用条件×膝関節角度）を行った。主効果、交互作用が認められた場合は事後検定としてBonferroniの検定を行った。

2. 研究結果

図4にサポーター着用部の代表画像を提示する。分散分析の結果、近位の筋弾性において膝屈曲角度と着用条件の交互作用を認めた（図5, $p <$

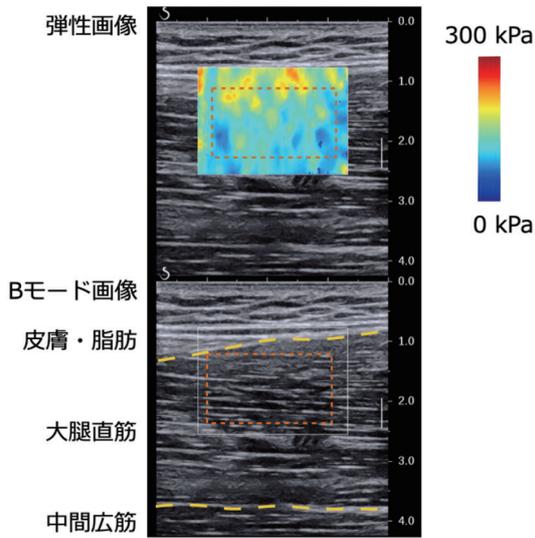


図3 超音波せん断波エラストグラフィで得られる弾性画像, Bモード画像と解析領域

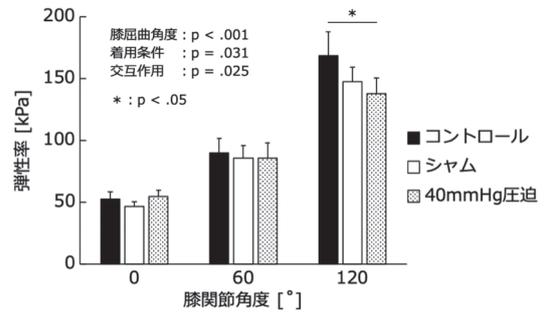


図5 膝関節屈曲に伴う着用部位(近位)の大腿直筋弾性の変化

圧迫条件との間に有意な差はみられなかった。一方、遠位の筋弾性においては膝屈曲角度の主効果のみを認め ($p < 0.05$), 着用条件の主効果および交互作用はみられなかった (図6)。

3. 考察

本研究では、サポーターによる外的圧迫が大腿直筋の伸長ストレスに与える影響を検討した。その結果、膝屈曲120°位において40mmHgのサポーターによる外的な圧迫により装着部位である近位の筋弾性が18%程度低下した。先行研究によつて超音波せん断波エラストグラフィで得られる筋

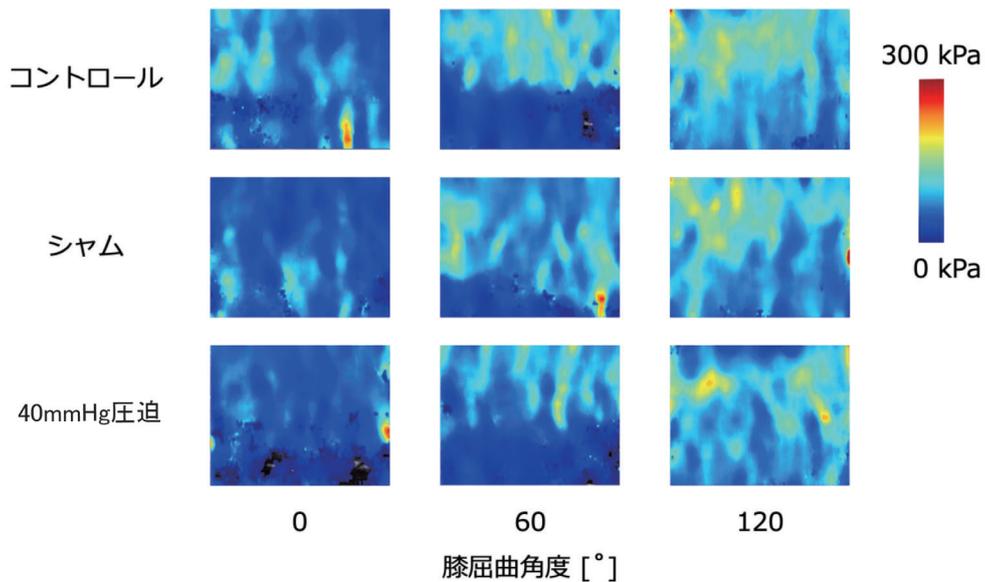


図4 各条件における装着部位の弾性カラーマップ代表例

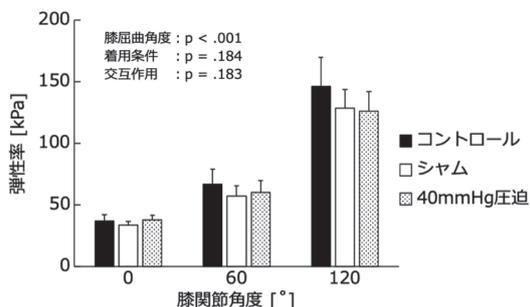


図6 膝関節屈曲に伴う非着用部位(遠位)の大腿直筋弾性的変化

弾性は筋伸長で生じる受動張力を強く反映することが示されている。したがって、着用条件で低い筋弾性が確認された本研究の結果は、外的圧迫によって着用部位の筋伸長ストレスを軽減させた可能性を示唆するものである。この結果はサポーターに期待される効果の1つである筋負荷の軽減作用を示す有用な情報である可能性がある。

一方で、サポーター装着部の遠位領域における筋弾性は3つの条件間で統計的に有意な差がみられなかった。先行研究⁵⁾においてデローディングテーピングという局所への外的圧迫を加える手技によって、筋伸長時および収縮時の大腿直筋弾性が低下した一方、テーピング部位よりも遠位の筋弾性は増加したことが報告されている。先行研究⁵⁾での遠位部の弾性増加について筆者らはテーピング領域の弾性軽減に対する代償的なストレス増大である可能性を考察している。今回の実験における結果は先行研究とは異なり、遠位領域の筋弾性には条件間の差を認めないことから装着部位のストレス軽減に対する代償的なストレス増大は生じていないと推察される。

筋弾性における測定部位の差について先行研究⁶⁾において大腿直筋では近位領域の弾性が高いことが報告されている。今回の結果も同様に大腿直筋では近位領域の弾性が高い傾向にあった。筋伸長時の弾性率は受動張力を反映すること^{3,4)}から大腿直筋では近位領域で他部位よりも強い力学ス

トレスが生じている可能性がある。疫学的に大腿直筋では肉離れに代表される筋損傷の発生部位が近位領域に集中していることも示されており⁷⁻⁹⁾、近位へのサポーター装着で弾性低減効果がみられた本研究の結果はサポーターによる外的圧迫が傷害予防に有用である可能性を示唆するものであるといえる。

4. 結 語

サポーターによる外的な圧迫は装着部位の筋伸長ストレスを軽減し、装着部以外への代償的なストレス増加は生じない可能性が示唆された。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、研究助成金を交付頂いた公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深く感謝申し上げます。また、実験の遂行にあたってデータ計測や解析補助を行って頂いた社会医療法人朋仁会整形外科北新病院の山崎夏海氏、札幌医科大学保健医療学部理学療法学科の山形一真氏、柏谷芽依氏にはこの場を借りて感謝申し上げます。

文 献

- 1) 宮本直和ほか、骨格筋への外的圧迫およびその強度が発揮筋力に及ぼす影響とその機序の解明. デサントスポーツ科学. 35: 31-36(2014)
- 2) Miyamoto N. et al.: Effect of Pressure Intensity of Compression Short-Tight on Fatigue of Thigh Muscles., *Med. Sci. Sports Exer.*, 46 (11) : 2168-74 (2014)
- 3) Koo T.K. et al., Relationship between shear elastic modulus and passive muscle force: an ex-vivo study., *J. Biomech.*, 46: 2053-9(2013)
- 4) Kodesho T. et al., Relationship between shear elastic modulus and passive force of the human rectus femoris at multiple sites: a Thiel soft-embalmed cadaver study., *J. Med. Ultrason.*, 48: 115-21(2021)
- 5) Hug F. et al.: Deloading Tape Reduces Muscle Stress at Rest and during Contraction., *Med. Sci. Sports*

- Exer.*, **46**: 2317-25(2014)
- 6) Kodesho T. et al., Intramuscular differences in shear modulus of the rectus femoris muscle during passive knee flexion., *Eur. J. Appl. Physiol.*, **121**: 1441-49 (2021)
- 7) Hasselman C.T. et al., An explanation for various rectus femoris strain injuries using previously undscribed muscle architecture. **23**: 493-9(1995)
- 8) Pasta G. et al., Sonography of the quadriceps muscle: *Examination technique, normal anatomy, and traumatic lesions.*, **13**: 76-84(2010)
- 9) 武田寧ほか, スポーツ損傷としての肉離れの疫学的調査 –スポーツ種目特性, 年齢–. *MB Orthop.*, **23**: 1-10(2010)