

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

鹿屋体育大学 宮本直和
(共同研究者) 早稲田大学 川上泰雄

Effect of Compression of Muscle and Its Intensity on Force-generating Capacity of the Muscle

by

Naokazu Miyamoto
National Institute of Fitness and Sports in Kanoya
Yasuo Kawakami
Waseda University

ABSTRACT

This study investigated the effect of compression of thigh and its intensity on the knee extension torque in Experiment 1. Compression was applied to the thigh by using a cuff inflator at 10, 20 and 30 mmHg. Evoked isometric doublet torque (Supramaximal intensity, 30 ms of inter-pulse interval, 500 μ s of pulse duration) of knee extension was measured with and without thigh compression. Double torque with thigh compression at 20 mmHg was significantly higher than that without compression. Then, in Experiment 2, we compared the magnitude of thigh muscle oscillation during doublet contractions, which was measured by using a 3-axis accelerometer placed on muscle belly of the vastus lateralis, among four conditions. The magnitudes of muscle oscillation with compression at 10, 20 and 30 mmHg were smaller than that without compression, but not different among the three compression conditions. These results suggest that the force-generating capacity of knee extensors is affected by thigh

compression and that there is an optimal compression intensity for enhancing the muscle force, although the reduced muscle oscillation by compressing the thigh does not necessarily lead to the enhancement of muscle force.

要 旨

本研究では、膝関節伸展筋群を対象として、筋への外的圧迫およびその強度が筋の力発揮能力に及ぼす影響を検討することを第一の目的とした。また、外的圧迫によって力発揮能力の向上が認められた場合には、力発揮能力の向上と筋振動の程度との関連について検討することを第二の目的とした。実験1では、大腿中央部にカフを巻き、10, 20, 30mmHgでの圧迫条件および圧迫無しの計4条件において、等尺性膝関節伸展トルクを測定した。膝関節伸展トルクは、大腿神経を経皮的に電気刺激することにより doublet 収縮を誘発し、そのピーク値とした。その結果、doublet トルクは、圧迫無し条件に対して20mmHg条件のみで有意に増大した。実験2では、実験1と同様の設定において、筋収縮時の筋振動を三軸加速度計を用いて測定した。その結果、doublet 収縮中の筋振動は圧迫により小さくなったが、圧迫強度による違いはみられなかった。これらの結果は、膝関節伸展筋群の発揮筋力は大腿部圧迫の影響を受け、発揮筋力を増大させるための至適圧が存在するが、圧迫による筋振動の抑制が必ずしも筋力の向上に繋がるわけではないことを示唆している。

緒 言

近年、伸縮性があり、身体に圧力を加えるコンプレッションウェアが急速に普及している。現在、複数のメーカーが数多くの種類および形状のコンプレッションウェアを販売しており、それぞれが運動パフォーマンスの向上を謳っている。コンプレッションウェアの効果検証を行った研究では、

運動後の筋疲労回復効果^{5, 10)} や運動時における筋疲労に及ぼす影響^{1, 10, 13)}、瞬発系パフォーマンスに及ぼす影響^{6, 9)} が検討されている。コンプレッションウェア着用による筋疲労軽減効果あるいは瞬発系パフォーマンス向上の機序としては様々な要因が挙げられるが、その一つとして、コンプレッションウェア着用による筋の力発揮能力の向上が考えられる。すなわち、コンプレッションウェア着用により筋の力発揮能力が向上すれば、瞬発系競技パフォーマンスの向上はもちろんのこと、力発揮能力向上によって効率が良くなり、その結果として、繰り返し筋収縮を行う運動時における筋疲労を軽減できる可能性がある。

コンプレッションウェア着用が筋の力発揮能力に及ぼす影響についてFu et al.⁸⁾ は、大腿部を中強度および高強度で圧迫した条件、圧迫をしない条件の計3条件で、最大随意収縮による等尺性膝関節伸展トルクを比較した。その結果、いずれの条件間においても最大膝関節伸展トルクに有意な差はみとめられなかった。この結果は、筋の力発揮能力は筋の圧迫の有無およびその強度の影響を受けないことを示唆するものである。しかしながら、Fu et al.の研究⁸⁾ では大腿部への圧迫強度が明記されていない。一方、Brown et al.⁴⁾ は、圧迫強度を調整できるカフを用いて上腕部に113, 226, 338mmHgの圧迫を加え、等尺性の肘関節屈曲単収縮トルクを測定した。その結果、カフ圧、すなわち筋への圧迫強度が増加するに伴い単収縮トルクは減少した。しかしながら、Brown et al.の研究⁴⁾ で用いられている圧迫強度は、一般的なコンプレッションウェアで採用されている強度(10-30mmHg)よりも圧倒的に高い。そこで、

本研究では一般的なコンプレッションウェアで採用されている10-30mmHgの圧迫強度を対象として、筋への外的圧迫およびその強度が筋の力発揮能力に及ぼす影響を検討することを第一の目的とした。

また、先行研究においては、コンプレッションウェア着用によって、垂直跳び時の床反力の最大値¹²⁾や跳躍高⁶⁾が増加する機序として、筋収縮時に筋の振動が抑制されることが挙げられている^{6,12)}。そこで、本研究では筋への外的圧迫によって力発揮能力の向上が認められた場合、力発揮能力の向上と筋振動の程度との関連について検討することを第二の目的とした。

1. 研究方法

1.1 実験1

被験者は、健常な成人男性15名(身長:172.3±4.2cm, 体重:65.2±7.2kg, 年齢:21.5±2.8歳; 平均値±標準偏差)とした。全ての被験者には事前に本研究の内容、目的、考えられるリスクについての説明を行い、書面にて実験参加の承諾を得た。本研究は、著者が所属する機関の倫理審査委員会の承認を得て行った。

外的圧迫の対象は右脚大腿部とした。被験者は、筋力計(CON-TREX, cmV AG社製)上のシートに股関節角度75度(解剖学的正位0度)および膝関節角度90度(解剖学的正位0度)の姿勢で座り、右脚下腿部に筋力計のアタッチメントを固定した。誘発収縮には定電圧アイソレータに接続した電気刺激装置(SEN-3301, 日本光電社製)を用いた。刺激電極の陽極(4cm×5cm)を大転子付近に、陰極(2cm×2cm)を大腿鼠径部に貼付した。本試行での電圧強度は超最大強度(単収縮トルクが最大になる電圧の1.2倍)とし、パルス幅500μs, 刺激間隔30ms, 刺激回数2回のdoublet収縮とした。また、大腿中央部に、加圧装置(E20 Rapid Cuff Inflator, Hokanson社製)に

繋がれたカフ(24×122.5cm)を装着した。圧迫条件は、10, 20, 30mmHgおよび圧迫無しの計4条件とした。加圧後にカフ圧が安定した段階で誘発収縮を惹起し、その後速やかに除圧した。測定はランダムな順序で2回ずつ行い、試行間には1分の休息を設けた。なお、各試行間において被験者に疲労感がないかの確認を適宜行った。

膝関節伸展トルクの信号はA/D変換機(PowerLab/16SP, ADInstruments社製)を介してサンプリング周波数1kHzで記録した。Doublet収縮時のピークトルク(doubletトルク)を算出し、各条件において2試行の平均値を代表値とした。すべての測定項目は平均値±標準偏差で表した。統計処理には、統計解析ソフトウェア(SPSS Statistics 20; IBM Japan社製)を用いた。圧迫強度を要因とする反復測定による一元配置の分散分析を行った。F値が有意であった場合は、下位検定としてDunnett法を行い、0mmHg条件を基準として比較を行った。危険率5%未満をもって統計的に有意とした。

1.2 実験2

被験者は、健常な成人男性4名とした(身長:175.1±2.1cm, 体重:67.2±3.2kg, 年齢:24.1±1.8歳)。実験設定は実験1と同様とし、外側広筋の筋腹上に三軸小型加速度計(356A03/019, PCB Piezotronics社製)を貼付した。加速度信号はトルク信号とともにA/D変換機を介してサンプリング周波数1kHzでパーソナルコンピュータに記録した。加速度データについては、刺激開始からピークトルク出現までの区間におけるx-y-z全成分の実効値(root mean square; RMS)の総和を算出した。

2. 結果

2.1 実験1

Doubletトルクについて分散分析を行った結果、

圧迫強度に主効果が認められた。その後の多重比較検定の結果、圧迫無し条件に対して 20mmHg 条件でのみ doublet トルクは有意に大きかった(図 1)。

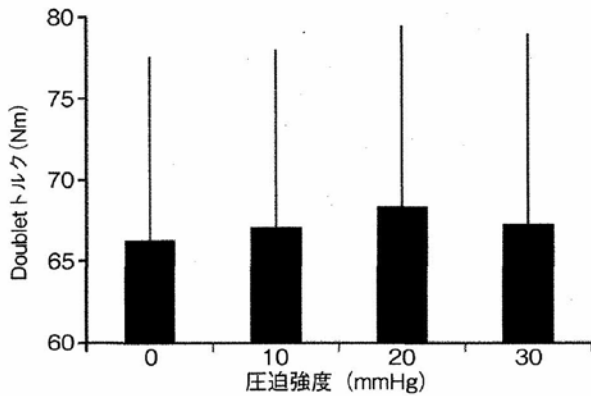


図1 各圧迫強度条件における doublet トルク

2.2 実験 2

Doublet トルクは、実験 1 と同様に、圧迫無し条件と比較して 20mmHg 条件で大きな値を示した。Doublet 収縮中の加速度の総和 RMS 値は、圧迫条件が圧迫無し条件に比べ低い、圧迫強度による違いはみられなかった(図 2)。

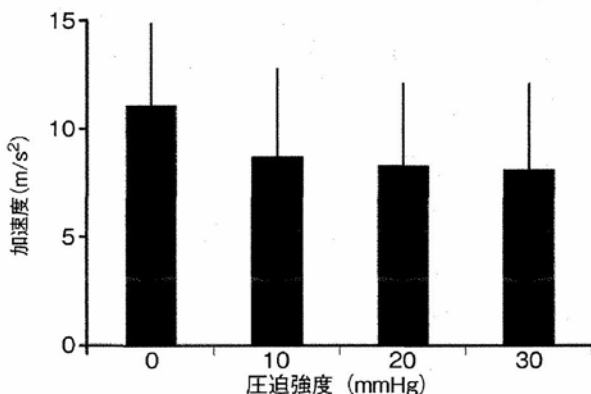


図2 各圧迫強度条件における筋収縮時の筋振動

3. 考 察

本研究の結果、doublet トルクは、圧迫無し条件 (0mmHg 条件) に対して 20mmHg 条件のみで有意に大きくなった。一方、doublet 収縮中の

筋振動は、圧迫により小さくなったが圧迫強度による違いはみられなかった。これらの結果は、膝関節伸展筋群の発揮筋力は大腿部圧迫の影響を受け、発揮筋力を増大させるための至適圧が存在するが、圧迫による筋振動の抑制が必ずしも筋力の向上に繋がるわけではないことを示唆している。

先行研究では、圧迫およびその強度によって等尺性最大随意収縮トルクは変化しないと報告されている⁸⁾。その研究において、最大随意収縮トルクの再現性はどの程度であるのかについては明記されていないが、多くの先行研究では最大随意収縮トルクは 5% あるいは 10% の変動係数をもって再現性があるとされている^{2,3)}。そのため、筋の力発揮能力に対する筋への外的圧迫による効果が、最大随意収縮トルクを発揮する際の被験者の再現性よりも小さい場合には、効果が埋もれてしまい検出が難しくなる。そこで、本研究では最大随意収縮よりも再現性の高い電気刺激による誘発性 doublet トルクを、筋の力発揮能力の指標として採用した。

持久系パフォーマンスや運動時の筋疲労に対するコンプレッションウェア着用の効果については、効果があるという報告^{11,13)}と効果が無い^{1,7)}という報告があり、一致した見解が得られていない。同様に、スプリント走や跳躍高などの瞬発系パフォーマンスに対する効果についても、効果があるという報告^{6,12)}と効果が無い⁹⁾という報告がある。これら結果の不一致を生み出す一原因としては、コンプレッションウェアの圧迫強度が考えられる。上述のように、コンプレッションウェアの効果を検証した先行研究は多数あるが、着圧を明記している研究は皆無に等しく、研究間での結果の比較を困難にしている。膝関節伸展筋群の力発揮能力を増大させるための至適圧が存在するという本研究の結果は、先行研究間での結果の不一致を説明できる可能性がある。

コンプレッションウェア着用による瞬発系パ

パフォーマンスの向上を報告しているものとして Doan et al. の研究⁶⁾がある。彼らは、コンプレッションウェア着用によって反動つきジャンプの跳躍高が5%程度有意に増大することを報告している。それと同時に、ジャンプ時の大腿部の振動がコンプレッションウェア着用によって抑制されたことから、大腿部の筋振動抑制が跳躍高増大の機序である可能性を指摘している。同様に、Kraemer et al.¹²⁾も、コンプレッションウェア着用によって筋の振動が抑制されることで、連続的なジャンプパフォーマンスが向上すると報告している。ジャンプやランニングの接地時のような短時間での力発揮が必要となる際には、筋収縮時の筋振動を抑制し、腱を至適な方向に伸張することによって効率的な関節トルク発揮に繋がると考えられる。一方、本研究においては、圧迫無し条件と比べ10mmHgおよび30mmHg条件においては、筋振動の大きさの指標である加速度は低い値を示したにも関わらず、doubletは差がみられなかった。本研究のこの結果は、筋への外的圧迫により筋振動が抑制されたとしても、発揮筋力が必ずしも向上するわけではないことを示している。すなわち、先行研究における瞬発系パフォーマンスの向上や、本研究における力発揮能力の向上には、筋振動とは異なる要因が関与している可能性が考えられる。ただし、本研究にて測定した加速度は、筋だけではなく皮下脂肪や他の軟組織の動きの情報を含んでいる。また、本研究の実験2において対象とした被験者は4名であり、統計分析を行うにあたり十分な被験者数ではなかった。そのため今後は、より多くの被験者を対象に、超音波画像装置などを用い、筋への外的圧迫による筋自体の動きを三次元的に観察・評価する必要がある。それにより、外的圧迫による筋の力発揮能力と筋振動との関連を、より詳細に検討することが可能となるであろう。

4. 結 論

本研究では、成人男性の大腿部を対象に、圧迫およびその強度が膝関節伸展トルクおよび筋収縮時の筋振動に及ぼす影響について検討した。その結果、doubletトルクは、圧迫無し条件(0mmHg条件)に対して20mmHg条件のみで有意に大きくなった。一方、doublet収縮中の加速度は、圧迫により小さくなったが圧迫強度による違いはみられなかった。これらの結果は、膝関節伸展筋群の発揮筋力は大腿部圧迫の影響を受けて発揮筋力を増大させるための至適圧が存在するが、圧迫による筋振動の抑制が必ずしも筋力の向上に繋がるわけではないことを示唆している。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、研究助成を賜りまし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厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Ali A., Caine M.P., Snow B.G., Graduated compression stockings: physiological and perceptual responses during and after exercise. *J. Sports Sci.*, 25: 413-419 (2007)
- 2) Alkner B.A., Tesch P.A., Berg H.E., Quadriceps EMG/force relationship in knee extension and leg press. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32: 459-463 (2000)
- 3) Altenburg T.M., de Ruyter C.J., Verdijk P.W., van Mechelen W., de Haan A., Vastus lateralis surface and single motor unit electromyography during shortening, lengthening and isometric contractions corrected for mode-dependent differences in force-generating capacity. *Acta. Physiol.*, 196: 315-328 (2009)
- 4) Brown T., Galea V., and McComas A., Loss of twitch torque following muscle compression. *Muscle Nerve.*, 20: 167-171 (1997)
- 5) Davies V., Thompson K.G., and Cooper S.M., The effects of compression garments on recovery. *J.*

- Strength Cond. Res.*, 23: 1786-94 (2009)
- 6) Doan B.K., Kwon Y.H., Newton R.U., Shim J., Popper E.M., Rogers R.A., Bolt L.R., Robertson M., and Kraemer W.J., Evaluation of a lower-body compression garment. *J. Sports Sci.*, 21: 601-610 (2003)
 - 7) Duffield R., Portus M., Comparison of three types of full-body compression garments on throwing and repeat-sprint performance in cricket players. *Br. J. Sports Med.*, 41: 409-414 (2007)
 - 8) Fu W., Liu Y., Zhang S., Xiong X., Wei S., Effects of local elastic compression on muscle strength, electromyographic, and mechanomyographic responses in the lower extremity. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 22: 44-50 (2012)
 - 9) Higgins T., Geraldine A., Naughton, Burgess D., Effects of wearing compression garments on physiological and performance measures in a simulated game-specific circuit for netball. *J. Sci. Med. Sport.*, 12: 223-226 (2009)
 - 10) Jakeman J.R., Byrne C., Eston R.G., Lower limb compression garment improves recovery from exercise-induced muscle damage in young, active females. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 109: 1137-1144 (2010)
 - 11) Kraemer W.J., Bush J.A., Bauer J.A., Triplett-McBride N., Paxton N.J., Clemson A., Koziris L.P., Mangino L.C., Fry A.C., Newton R.U., Influence of compression garments on vertical jump performance in NCAA division I volleyball players. *J. Strength Cond. Res.*, 10: 180-183 (1996)
 - 12) Kraemer W.J., Bush J.A., Triplett-McBride N., Koziris L.P., Mangino L.C., McBride J.M., Johnston J., Volek J.S., Young C.A., Gomez A.L., Newton R.U.: Compression garments: influence on muscle fatigue. *J. Strength Cond. Res.*, 12: 211-215 (1998)
 - 13) Miyamoto N., Hirata K., Mitsukawa N., Yanai T., and Kawakami Y., Effect of pressure intensity of graduated elastic compression stocking on muscle fatigue following calf-raise exercise. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 21: 249-254 (2011)