

足関節底屈筋力発揮時の力発揮の方法の違いが 腓腹筋内側頭の筋形状変化に及ぼす影響

The effect of difference in method on the muscle deformation in the medial gastrocnemius muscle during ankle plantar flexion exercises

佐久間 淳
Jun Sakuma

Abstract

The purpose of this study was to reveal the effects on the muscle deformation between two different force generation methods. 3 subjects participated in this study, they performed muscle contractions (20%, 40%, 60%, 80%) with dynamometer and sledge apparatus. The muscle deformation which length of fascicle and angle of pennation was bigger dynamometer than sledge apparatus. From this results which the difference in muscle deformation, this study revealed that the muscle deformation during muscle force generating was affected by the force generating methods. And this study estimated that the difference of muscle deformation between methods was induced by the ankle rotation during force generating.

Key words : muscle deformation, ultrasonography, medial gastrocnemius

I はじめに

筋力発揮中の筋形状変化をとらえてきた先行研究の多くは、筋力計を用い、等尺性足関節底屈運動時に超音波装置を用いることで明らかにしてきた^{1),2),3)}。その結果、等尺性収縮であるにもかかわらず、筋は短縮し、腱組織が伸長していることが明らかとなった⁴⁾。しかし、超音波法においては、筋力計での力発揮を実施するが、力発揮中に足関節角度の変化が認められるという点の克服が課題の一つであった。多くの先行研究は、論文内の実験設定で「足関節は伸縮しないバンドでしっかりと筋力計のプレートに固定され」と説明しているが、実験を再現すると発揮筋力が高まるにつれて、足部底面と筋力計のプレートとの間が空いてしまうことが確認された。足関節角度が変化しないようにバンドで固定すると、被験者の足部を圧迫するため、圧迫による痛みで筋力発揮では全力での試行が難しくなった。したがって、ある程度の強さで固定しなければならず、全力での力発揮時には足関節が底屈した状態となる場合があった。さらに、足部を固定した筋力計のプレートそのものも回転中心を中心に、わずかながら回転する様子が観察された。これらの変化を合わせた際、先行研究で報告された筋束長の変化や腱長変化といった筋形状の変化は上記の足関節およびプレ

ートの変化を含むこととなる。Magnussonら(2001)は、力発揮中に変化する足関節の角度によって腱長変化が影響を受けることを指摘し、補正する方法を考案した。しかし、彼らは、筋腱移行部の変化をとらえるにとどまり、筋束長や羽状角といった筋形状の変化について明らかにしていない。関節角度の影響を考慮した筋形状の変化を明らかにし、これまでの先行研究との結果と比較することで、新たな発見につながる可能性があると思われる。したがって、超音波法において力発揮時の足関節角度が変化しない方法を用いて筋形状の変化を計測し、足関節角度が変化してしまう従来の筋力計を用いた試行での筋形状の変化を比較することで力発揮に伴う筋形状変化における方法の違いについて検証する必要があると思われる。

そこで、本研究ノートでは力発揮中に足関節角度が変化しない実験設定を考案した上で超音波法を用いて力発揮時の筋形状変化を計測し、先行研究と同様の実験設定にて計測した筋形状の変化を比較することとした。その結果をもとに足関節角度変化の影響について検討するとともに、今後の超音波法を用いた研究の方法を考えるうえで一助となるデータを示すことを目的とする。

II 方法

被験者

表1に示した被験者は、以下に示す2種類の方法にて力発揮を実施した。

表1: 被験者の年齢及び身長、体重

	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)
被験者1	29	178	74
被験者2	28	169	60
被験者3	25	177	76

1. 筋力計を用いた力発揮試行

被験者は、筋力測定装置 (CON-TREX, CMV AG, スイス) に座位姿勢にて最大筋力を発揮した (図1)。筋力測定装置のダイナモメータに固定された足関節アダプターに被験者の右足部を、関節中心を合わせて、非伸縮性のバンドで痛みによって力発揮できなくなる程度に強固に固定した。最大筋力の測定は、2回ずつ実施し、値の大きい方を最大筋力として採用した。なお、2回の計測のうち、1回目と2回目の値の違いは、5%以内とし、それ以上の場合には3度目の計測を実施し、再現性を得た。疲労が無いよう休息を入れ、脱力状態から5秒間かけて最大筋力まで力発揮する Ramp 試行を実施した。Ramp 試行も2回計測し、Ramp 試行の最大値が最大筋力試行の最大値と5%未満になるよう配慮した。Ramp 試行における筋形状の変化は、力発揮中の腓腹筋内側頭 (MG) の筋腹に超音波装置のプロープを貼付して筋束を撮像し、ビデオテープに記録した。その後、最大筋力の20%、40%、60%、80%における筋束長および羽状角を画像解析ソフト (Image-j 1.41 National Institutes of Health アメリカ) を用いて計測した (図2)。

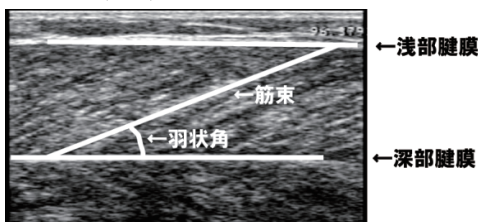


図2 筋形状計測方法

2. 足関節角度が変化しない試行

被験者は、図4に示したような装置の上で、最大筋力の20%、40%、60%、80%の負荷で足関節底

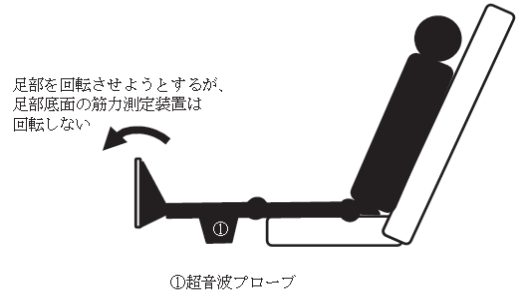


図1 筋力計を用いた試行

屈を行った。足関節底屈の負荷は、筋力計を用いた力発揮試行で計測された最大筋力をもとに決定された。フォースプレートは、「力」の計測を行うため、筋力計を持ちない力発揮試行で得られた筋力「トルク」を足長で除して、「力」に変換した。なお、負荷をかける際には、実験装置 (図4) の角度を変えることによって、被験者の体重より軽い負荷で力発揮できるようにした。さらに、実験装置 (図4) が斜めに設置されているため、被験者に負荷をかける際、角度分を補正し、負荷を増減することで調整した。負荷の増減は、図3に示したウェイトジャケット (Kool-Katz 社製) を着脱することで調節した。

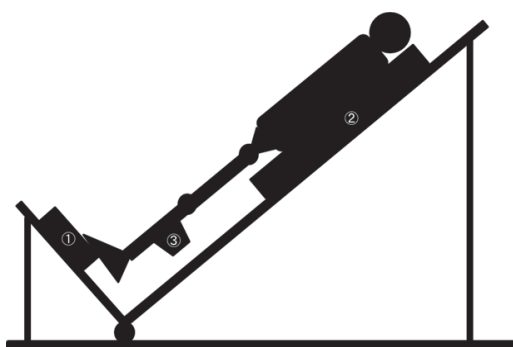
足関節角度は、ゴニオメータ (Biometrics 社製、英国) を足関節足部に貼付して計測した。試行中、被験者は正面に設置されたモニターにリアルタイムで映し出されたゴニオメータの角度を見ながら、必ず足関節角度90度 (解剖学的正位) となるよう合わせた。

負荷をかけた際の腓腹筋内側頭の筋束長および羽状角は筋力計試行と同様の方法にて計測した。安静時の筋束長、羽状角に関しては、計測姿勢が異なることに伴い、筋形状が異なっていることが予想されるため、比較しなかった。両試行における筋束長および羽状角の比較は、20% 試行の値を基に変化率として算出し、行った。

なお、差の検定は、被験者が3名のため行っていない。



図3 ウェイトジャケット



①フォースプレート ②上下にスライド可能なスレッジ装置 ③超音波プローブ

図4 足関節角度が変化しない試行

Ⅲ 結果

各被験者の各試行における筋束長変化および羽状角変化の結果は、図5に示すとおりである。被験者1と被験者2は筋力計を用いた Ramp 試行の変化が大きかったが、被験者3においてはその限りではなかった。

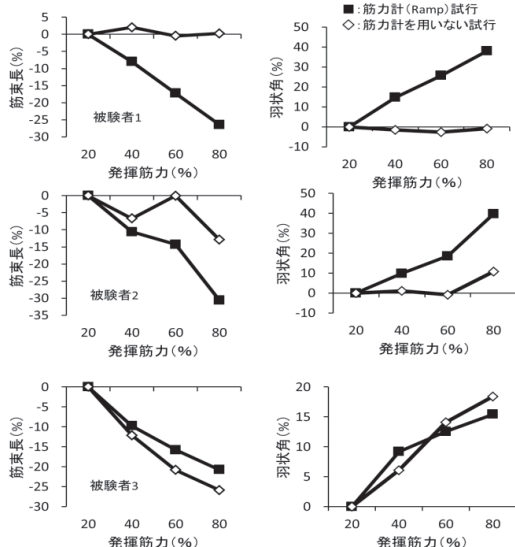


図5 各被験者の筋束長と波状角変化

Ⅳ 議論

本研究は、先行研究で用いられてきた筋力計を用いて筋力発揮した際の筋形状の変化と、力発揮の際、足関節角度が変化しない新たな方法にて計測された筋形状変化を比較した。その結果、足関節角度が変化しない試行の筋形状の変化が、足関節角度が変化する試行の筋形状変化よりも小さく、力発揮の方法の違いによって筋形状の変化に影響する可能性が示された。

本研究の結果から、超音波装置を用いて筋形状変化をとらえてきた先行研究の結果には、足関節角度変化の影響があった可能性がある。Muraoka ら⁶⁾は、超音波法を用いた方法によって発揮筋力が大きいほど腱組織の伸張が大きいことを報告している。彼らは、そこから算出された腱組織の力学的特性についても議論しているものの、筋力計を用いた方法であるため、足関節の回転の影響を拭い去ることができないものと思われる。さらに、筋力計を用いた筋力発揮試行を用いた先行研究には、トレーニング前後の筋形状変化から組織の力学的特性などを比較しているものあり³⁾、これらの先行研究の結果についても再度検証する必要があるものと推察される。

また、Kubo ら¹⁾は、100m 走の疾走タイムが速い人ほど、アキレス腱の腱伸長が大きく、アキレス腱をバネのように使用することで弾性エネルギーを利用でき、疾走タイムが速くなるものと推察している。一方、小林⁸⁾は、100m 走の疾走タイムと腱組織の力学的特性に関係性は認められないと報告しており、明確に説明することができていない。上記の競技成績との関係を明らかにしようとする先行研究においても、筋力計を用いた力発揮によって、多少なりとも関節の回転を伴う試行によって筋束長や羽状角、腱伸長といった筋形状を明らかにしてきたため、この点についても再計測することで結果を明確にすることができる可能性がある。

以上のように、先行研究において筋力計を用いた方法による報告が多く存在し、いずれの報告においても関節角度変化の影響があることが予想される。したがって、本研究をさらに進め、被験者数の増加や他の部位での検証を進めたいと、先行研究の追試をすることでより詳細に結果について検討する必要があるものと思われる。

V まとめ

本研究は、筋力計による力発揮中の筋形状の変化と、筋力計を用いない方法による力発揮中の筋形状の変化を比較することで、力発揮の方法の違いが筋形状の変化に及ぼす影響について明らかにした。その結果、筋力計を用いた方法よりも筋力計を用いない方法での筋形状の変化が小さい可能性が示された。このことから、筋力計を用いた方法での足関節の角度変化が筋形状の変化に影響することが推察された。

【参考文献】

1. Kubo K, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T. Elasticity of tendon structures of the lower limbs in sprinters. *Acta Physiol Scand.* 168(2) : 327-35. 2000.
2. Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T. Comparison of elasticity of human tendon and aponeurosis in knee extensors and ankle plantar flexors in vivo. *J Appl Biomech.* 21(2) : 129-42. 2005.
3. Kubo K, Komuro T, Ishiguro N, Tsunoda N, Sato Y, Ishii N, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of low-load resistance training with vascular occlusion on the mechanical properties of muscle and tendon. *J Appl Biomech.* 22(2) : 112-9. 2006.
4. Ito M, Kawakami Y, Ichinose Y, Fukashiro S, Fukunaga T. Nonisometric behavior of fascicles during isometric contractions of a human muscle. *J Appl Physiol* (1985). 85(4) : 1230-5. 1998
5. Magnusson, S. P., Aagaard, P., Rosager, S., Dyhre-Poulsen, P., Kjaer, M. (2001) Load-displacement properties of the human triceps surae aponeurosis in vivo. *J Physiol.* 531(1): 277-288.
6. Muraoka T, Muramatsu T, Fukunaga T, Kanehisa H. Elastic properties of human Achilles tendon are correlated to muscle strength. *J Appl Physiol* (1985). 99(2) : 665-9. 2005.
7. Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T. Influences of repetitive drop jump and isometric leg press exercises on tendon properties in knee extensors. *J Strength Cond Res.* 19(4) : 864-70. 2005.
8. 小林海：競技レベルの高い陸上短距離選手における走速度の決定因子：短距離走の加速局面を対象として．早稲田大学博士論文．2011年