

足関節背屈時の下腿筋群の形状変化と滑走性評価

粕山達也¹⁾ 川越 誠²⁾ 加藤和夫²⁾

Ultrasonographic evaluation of the gliding movement and change in the shape of the lower thigh muscles during ankle dorsiflexion

KASUYAMA Tatsuya, KAWAGOE Makoto, KATO Kazuo

要 旨

本研究の目的は超音波画像診断装置を用いて、足関節背屈運動時の下腿筋群の形状変化と滑走性の評価を行うことである。9名の健常成人男性を対象に、高周波の超音波画像診断装置を使用して、荷重位および非荷重位にて足関節安静時と背屈時の長母趾屈筋の厚さを比較した。さらに相互相関係数を用いて背屈運動時の長母趾屈筋の滑走性を評価した。荷重位および非荷重位ともに長母趾屈筋の厚さは背屈時にて有意に厚さの減少が認められた。また、荷重位での背屈運動において距骨下関節が狭小する様子が観察され、数名においては長母趾屈筋が近位へ滑走した。

今後は、シンスプリントなどのスポーツ障害において下腿深層筋の圧迫や滑走性の影響を検討していくことが課題である。

キーワード：傷害予防

超音波診断

シンスプリント

可動域制限

オーバーユース症候群

1) 健康科学大学 健康科学部 理学療法学科

2) せせらぎ病院附属あさくら診療所 リハビリテーション科

はじめに

足関節背屈可動性はスポーツ活動において重要な役割を果たしている。足関節の背屈可動制限は足関節捻挫¹⁾や膝蓋腱障害²⁾、アキレス腱障害³⁾、足底腱膜炎⁴⁾、さらにはオーバーユース症候群⁵⁾など様々な下肢のスポーツ障害との関連が報告されており、下肢のスポーツ傷害に大きな影響を与える危険因子である。

そうしたスポーツ傷害の中で、シンスプリント（脛骨過労性骨膜炎）と足関節背屈制限との関連が挙げられている⁶⁾。シンスプリントは運動時および運動後に下腿の脛骨内側後縁に痛みを訴えるスポーツ障害であり、ランニングやジャンプなどの運動によって起こることが多く、慢性的な疼痛と圧痛が主な症状として現れる。その病態は、後脛骨筋・長母趾屈筋・長趾屈筋・ヒラメ筋の脛骨起始部に繰り返し加えられたストレスによる骨膜炎の炎症反応であると考えられている⁷⁾。シンスプリントの発症要因として、足関節の背屈制限や距骨下関節の過回内、扁平足が挙げられており⁶⁻⁹⁾、足関節の背屈運動と下腿後面筋群の機能には関連があると考えられる。

近年、超音波画像診断装置の進歩により、生体内での運動を非侵襲にて観察することが可能となっている。また、超音波画像の動画撮影により筋腱や神経の滑走性についての研究も検討され始めている^{10,11)}。障害発生メカニズムを検討するために、動的評価が可能な超音波画像診断装置は有用なツールであると考えられる。

そこで、本研究は足関節背屈運動時の下腿後面筋群の形状変化と滑走性について超音波画像診断装置を用いて検討することを目的とした。

対 象

対象は健常成人男性9名（平均年齢 28.4 ± 3.9 歳）とした。全対象者に本研究の趣旨を十分に説明し、同意を得た上で研究を実施した。本研究の対象は以下の基準を満たす者とした：下腿三頭筋に外科的処置を必要とする外傷を有さず、視覚的評価において平地歩行で下肢に明らかな機能障害を有さないもの。

方 法

荷重位および非荷重位での足関節背屈運動時の下腿後面筋群の動態を超音波画像診断装置（GE Healthcare 社製 Logiq e）にて撮影した。撮影時に下腿後面筋群および足関節（脛骨と距骨）が同定できる位置に長軸方向にプローブを当て固定し、測定は周波数10 MHzにてB-mode撮影を行った。動画撮影は30 fpsにて足関節背屈 0° から最大背屈時までの運動を10秒間記録した。足関節背屈運動の方法は、荷重位では、対象者を静止立位から左下肢を前方に踏み出し、右下肢の下腿三頭筋を伸長するように膝関節伸展位で足関節を背屈した。非荷重位では、対象者は腹臥位にて膝関節伸展位で検者により足底面から抵抗を加え足関節背屈を行った。各肢位ともに足関節の背屈は、下腿後面筋の伸長痛が生じるか足関節前面の接触により運動が制限されるまで行った。また、足指

に過剰な力を入れないように指示した。

筋の形状変化および滑走性評価として下腿後面筋の測定対象筋に長母趾屈筋を用いた。長母趾屈筋を採用した理由は、ヒラメ筋-アキレス腱の深層に位置し、超音波画像により長軸方向の画像が得られやすく、下腿後面の深層筋群として形状変化と滑走性の評価が行いやすいためである(図1)。

形状変化の測定方法は、ヒラメ筋とアキレス腱移行部の位置から脛骨までの距離を長母趾屈筋の筋厚と定義し、足関節背屈0°位と足関節最大背屈位で測定を行った。測定は3回実施して平均値を採用した。また、足関節背屈時の筋の形状変化と共に脛骨と距骨の動態(距骨下関節)についても観察した。

滑走性の評価方法は、Dilleyら¹⁰⁾の方法に従って動画撮影にて得られた画像から静止画を1/30秒コマ毎に切り出し、30×30 pixelの特定画像の移動から相互相関係数を求めることにより筋の近位及び遠位方向の移動を推定した(図2、3)。画像の特定には、画像解析ソフトImageJを利用し、静止画像から30×30 pixelの画像を切り出し、超音波画像の白黒画像を256階調の数値データ(Textファイル)に変換したのち、元画像と1/30秒後の画像についてpixelを1コマずつシフトさせ、最も相関が高かった方向に

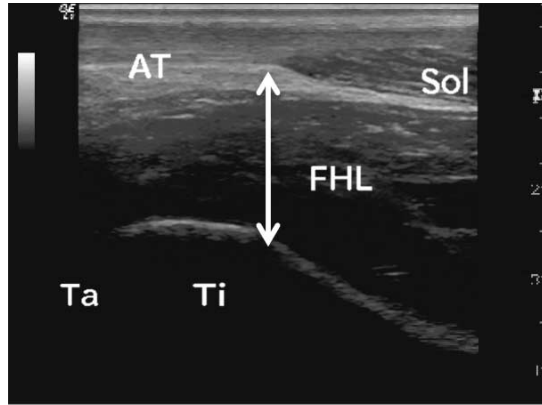


図1 下腿後面筋群の超音波画像

下腿後面のヒラメ筋とアキレス腱の移行部を中心に描出した画像。AT：アキレス腱、Sol：ヒラメ筋、FHL：長母趾屈筋、Ta：距骨、Ti：脛骨、矢印：長母趾屈筋の厚さを測定

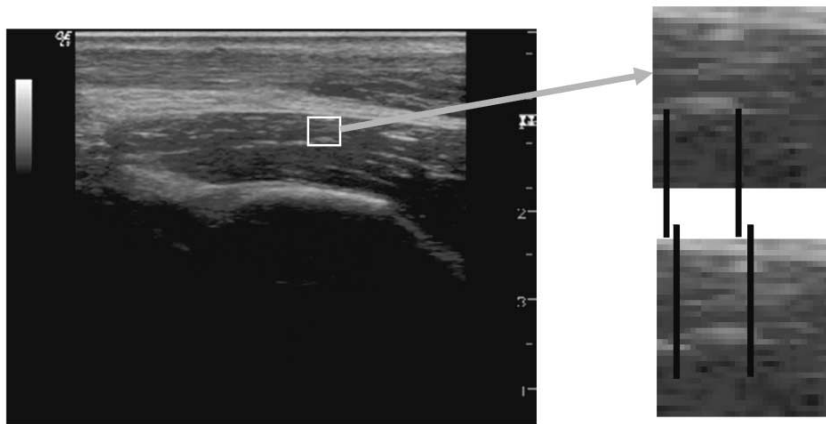


図2 長母趾屈筋の滑走性評価

ヒラメ筋とアキレス腱の移行部の下に30×30 pixelのフレームを切り出し、動画撮影にて得られた画像から静止画を1/30秒コマ毎に抽出する。相互相関係数を使用して、筋が移動した方向を推定する。

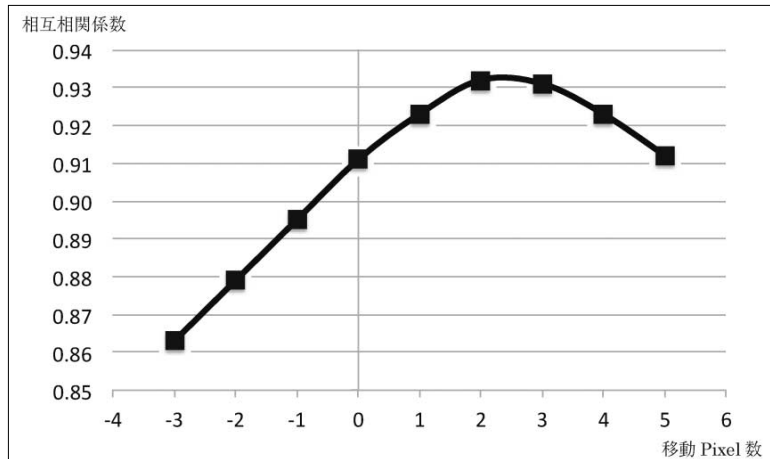


図3 Pixel shift の相互相関により算出

相関の高さが画像の一致度を示す。図3の左方向（遠位）への移動ではマイナス、右方向（近位）への移動ではプラスの値を示す。図3では、1/30秒後に右方向に約2 pixel 移動した。

筋が移動したと推定する方法を用いた。

統計学的解析には荷重の有無（荷重位・非荷重位）と足関節の運動前後（安静時・最大背屈時）を2要因とした二元配置分散分析を使用し、長母趾屈筋の筋厚を比較した。なお、有意水準は5%とした。

結 果

長母趾屈筋の厚さにおいては荷重位では足関節背屈0度で 12.8 ± 1.1 mm と最大背屈位 7.7 ± 0.9 mm であり、有意に最大背屈位で厚さの減少がみられた ($p < 0.05$)。非荷重位においても、足関節背屈0度で 12.9 ± 1.0 mm と最大背屈位 8.1 ± 1.0 mm であり、有意に最大背屈位で厚さの減少がみられた ($p < 0.05$)。荷重の有無による交互作用は認められなかった (表1)。

荷重位での背屈運動において距骨下関節の間隙が狭くなり、距骨が脛骨に押されて沈み込む現象が観察されたが、非荷重位では観察されなかった (図4)。滑走性の評価に関しては、荷重位での測定では背屈に伴い2名において長母趾屈筋が近位方向へ移動した。

表1 荷重の有無と足関節背屈運動前後の長母趾屈筋の厚さ

	安 静	最大背屈	p 値
荷 重 位	12.8 ± 1.1	7.7 ± 0.9	$p < 0.05$
非荷重位	12.9 ± 1.0	8.1 ± 1.0	$p < 0.05$

単位：mm (Mean±SD)

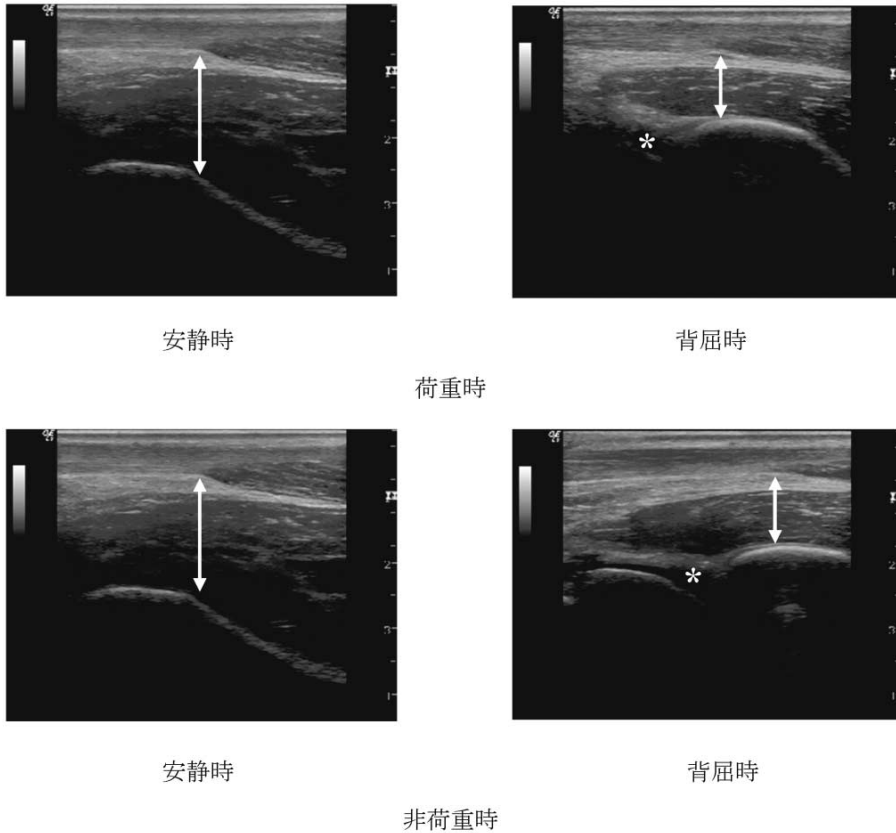


図4 荷重時及び非荷重時の下腿内側後面筋群の形状変化
 (矢印：長母趾屈筋の厚さを測定、*：距骨下関節の間隙を観察。荷重時では距骨が消失するが非荷重時では距骨が明瞭に映っている)

考 察

シンスプリントの発症要因として、足関節の背屈可動制限や距骨下関節の過回内、扁平足などが挙げられる⁶⁻⁹⁾。今回の調査は、そうした足関節の背屈運動と下腿後面筋群との関係及び足関節の動態を評価することを目的とした。超音波画像診断装置の進歩により、生体内での筋腱の形状変化および滑走性評価が可能となり、様々な障害発生メカニズムの解明に寄与することが期待されている。今回、我々が行った足関節背屈時の下腿後面筋群の形状変化および滑走性評価はシンスプリントや下腿の慢性コンパートメント症候群の発症メカニズムを示唆する見解の一つであると考え。

足関節の背屈運動によって、アキレス腱およびヒラメ筋は長軸方向に伸長が加わるが、深層に位置する長母趾屈筋は筋厚が薄くなることが明らかとなり、ヒラメ筋と脛骨によって圧迫が加わる様子が観察された。また、荷重位での足関節の背屈運動に関しては、背屈に伴い脛骨に押されるように距骨が沈み画面上から深部に消えていく様子が観

察された。一方で、非荷重位では脛骨と距骨の動きは少なく、背屈運動全体を通じて画像上に距骨と脛骨が明確に表示される映像が観察された。これは Millington ら¹²⁾の報告と同様に、荷重位における背屈運動では距骨と脛骨の接触面積が増加し、距骨が下方に移動することが示唆される。また、荷重位での足関節背屈において2名のみ長母趾屈筋が近位方向に移動する現象が観察された。これは、アーチ構造や荷重方法によって長母趾屈筋を使用するものと使用しないものが存在することが示唆される。移動がみられたものは、足部が外転傾向のものや足底部のアーチが低下していたものであった。下腿内側から足底に走行する長母趾屈筋などの深層筋はアーチを保持する機能を発揮しており、屈筋腱の伸長に伴い伸張反射が生じ、筋が収縮することにより近位へ移動したと推測される。実際に、扁平足患者や後脛骨筋機能不全患者においては立脚期でアーチを支える機能をもつ深層筋の筋活動が健常者よりも高くなることが報告されている¹³⁾。

これまでのシンスプリントの発症メカニズムとしては、脛骨内側に位置する筋群（後脛骨筋、長趾屈筋、長母趾屈筋）およびヒラメ筋の伸長ストレスにより発症すると考えられていた。しかし、アーチの低下や距骨下関節の過回内により筋・腱が過度に伸張され、伸張反射を誘発することにより筋収縮が生じることで筋腱附着部へ強い牽引ストレスが生じている可能性が示唆される。実際に、大半の対象者においては荷重位での足関節背屈において深層の筋群が滑走する様子は観察されなかった。

こうした現象から、シンスプリントの発症要因としては足関節背屈に伴う脛骨内側筋群への圧迫ストレスに加えて、アーチ低下や距骨下過回内による筋腱の伸張反射から生じる牽引ストレスが重なることで障害が起こる可能性が推測される。伊藤ら¹⁴⁾はシンスプリント症例において腓腹筋の高い筋硬度と足関節背屈角度の低下を報告しており、下腿三頭筋が硬くなるほど深層の筋は強く圧迫している可能性が考えられる。

これまでのシンスプリント発症に関する調査研究においては足関節背屈や足部過回内についての研究が多く、実際の生体内での動態に関しては明らかにされなかった。本研究では、数値で示す量的な研究ではなく、生体内で実際に起こっている現象に焦点を絞って行った質的研究であるため、客観的信頼性に乏しい。しかし、こうした超音波画像を用いた生体内での評価から個別性を反映した治療や方略が行える可能性が示され、今後は症例の生体内での現象にあった治療が求められると考える。アーチの低下により長母趾屈筋が著しく移動するものに対して足底板療法を施工することや、シンスプリント症例における足関節背屈可動性と長母趾屈筋の筋厚変化など、より詳細な評価・治療を行うことが今後の課題である。障害メカニズム解明のためにも、超音波画像を用いた生体内での動態評価に関する研究が発展していくことが望まれる。

引用文献

- 1) de Noronha M, Refshauge KM, Herbert RD, et al.: Do voluntary strength, proprioception, range of motion, or postural sway predict occurrence of lateral ankle sprain? *Br J Sports Med* 40: 225-824-828, 2006.
- 2) Malliaras P, Cook JL, Kent P.: Reduced ankle dorsiflexion range may increase the risk of patellar tendon injury among volleyball players. *J Sci Med Sport* 9: 304-309, 2006.
- 3) Mahieu NN, Witvrouw E, Stevens V, et al.: Intrinsic risk factors for the development of Achilles tendon overuse injury, a prospective study. *Am J Sports Med* 34: 226-235, 2006.
- 4) Riddle DL, Pulisic M, Pidcoe P, et al.: Risk factors for plantar fasciitis, a matched case-control study. *J Bone Joint Surg Am* 85: 872-877, 2003.
- 5) Kaufman KR, Brodine SK, Shaffer RA, et al.: The effect of foot structure and range of motion on musculoskeletal overuse injuries. *Am J Sports Med* 27: 585-593, 1999.
- 6) Messier SP, Pittala KA.: Etiologic factors associated with selected running injuries. *Med Sci Sports Exerc* 20(5): 501-5, 1988.
- 7) 木田貴英, 山中正紀: 過労性脛骨滑膜炎 (シンスプリント). *理学療法* 23(1): 362-367, 2006.
- 8) Sommer HM, Vallentyne SW: Effect of foot posture on the incidence of medial tibial stress syndrome. *Med Sci Sports Exerc* 27: 800-804, 1995.
- 9) 新名真弓, 江川陽介, 他: シンスプリント (脛骨過労性骨膜炎) の発生に関する身体的要因に関する研究. *臨床スポーツ医学* 19(11): 1355-1359, 2002.
- 10) Dille A, Greening J, Lynn B, et al.: The use of cross-correlation analysis between high-frequency ultrasound images to measure longitudinal median nerve movement. *Ultrasound Med Biol.* 27: 1211-1218, 2001.
- 11) Coppieters MW, Hough AD, Dille A.: Different Nerve-Gliding Exercises Induce Different Magnitudes of Median Nerve Longitudinal Excursion: An In Vivo Study Using Dynamic Ultrasound Imaging. *J Orthop Sports Phys Ther* 39(3): 164-171, 2009.
- 12) Millington S, Grabner M, Wozelka R, et al.: A stereophotographic study of ankle joint contact area. *J Orthop Res* 25: 1465-1473, 2007.
- 13) Semple R, Murley GS, Woodburn J, Turner DE.: Tibialis posterior in health and disease: a review of structure and function with specific reference to electromyographic studies. *J Foot Ankle Res* 19: 2-24, 2009.
- 14) 伊藤浩充, 若狭真妃, 他: 高校サッカー選手のシンスプリントに関わる下腿・足部の発生因子. *神大保健紀要* 21: 1-10, 2005.

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the gliding movement and change in the shape of the lower thigh muscles during ankle dorsiflexion.

High-resolution ultrasonography was used to measure the thickness and the movement of the flexor hallucis longus (FHL) muscle at rest and during ankle dorsiflexion in 9 healthy men in the weight-bearing and non-weight-bearing positions. The change in the shape of the soleus muscle and the movement of the subtalar joint were also evaluated. The movement of the FHL was calculated using a frame-by-frame cross-correlation analysis. We compared the changes in FHL muscle thickness at rest and during ankle dorsiflexion.

The FHL showed significantly greater decreases in thickness at maximal ankle dorsiflexion (weight-bearing position : 7.7 ± 0.9 mm ; non-weight bearing position, 8.1 ± 1.1 mm) than at neutral ankle position (weight-bearing position, 12.9 ± 1.1 mm ; non-weight-bearing position, 12.9 ± 1.0 mm). At ankle dorsiflexion, the FHL was compressed by the soleus muscle and the subtalar joint appeared narrowed.

Sports injuries such as shin splints may be associated with the sliding motion and compression of the lower thigh deep muscles by the soleus muscle.

Keywords : Injury prevention

Ultrasonography

Shin splints

Joint range of motion limitation

Overuse syndrome