

原著

# 長母趾屈筋における筋腱移行部の移動量 一超音波画像を用いた定量評価の信頼性--

福本 竜太郎<sup>1\*</sup>,境 隆弘<sup>2</sup>,羽崎 完<sup>3</sup>,越野 八重美<sup>3</sup>,小柳 磨毅<sup>3</sup> <sup>1</sup>葛城病院 リハビリテーション部 <sup>2</sup>大阪保健医療大学 保健医療学部 <sup>3</sup>大阪電気通信大学 医療健康科学部

### 要旨

【目的】超音波画像を用いて,母趾伸展にともなう長母趾屈筋の筋腱移行 部移動量を測定し,その信頼性を検討した.

【方法】外傷既往がない健常成人女性 10 名 20 足を対象とした. 母趾 MP 関節を 0°と 30°まで伸展させた 2 条件において,長母趾屈筋における筋腱 移行部移動量を計測した. 信頼性の検討は級内相関係数と Bland-Altman 分析を用いた.

【結果】級内相関係数は検者内(1,1),検者間(2,1)ともに 0.8 以上であった. Bland-Altman 分析では,系統誤差は認められなかった.

【結論】超音波画像を用いた長母趾屈筋における筋腱移行部移動量の測定 方法は、高い信頼性があった. 受付日 2020年1月9日 採択日 2020年5月15日

#### \*責任著者

福本 竜太郎 葛城病院 リハビリテーション部 E-mail: simpledeiika@gmail.com

#### キーワード

超音波画像,長母趾屈筋,筋 腱移行部の移動量

## はじめに

様々な形状の路面に適応する足関節は、外傷が起こり やすく 1),外傷後には、関節可動域の制限や疼痛などの 症状が高頻度に発生する. その中で、長母趾屈筋の柔軟 性低下は足関節背屈における可動域制限の要因と考えら れている 2-4). 長母趾屈筋は距骨の後方を巻きつくように 通過し、母趾へ向けて前方へ走行する 5. 通常、足関節 の背屈運動において長母趾屈筋は、距骨の後方移動を許 容するが、過度に緊張すると距骨を前方に押し出すよう に作用する 2-4). 屍体を用いた研究 2)により,長母趾屈筋 の柔軟性が低下した状態で足関節の背屈運動を行うと, 距骨の後方移動が抑制されて頚部が天蓋へ衝突すること が明らかとなり、この衝突が背屈運動の制限因子になる と考えられている<sup>2)</sup>. このように,長母趾屈筋は足関節 背屈における関節可動域制限の要因と考えられるが、渉 猟し得た限り,長母趾屈筋の柔軟性を評価する方法は確 立されていない. 臨床で一般的に用いられている柔軟性

の評価方法である関節可動域測定は、関節の角度変化を 計測する方法である.しかし、関節可動域測定は、筋の 柔軟性の変化について、詳細な情報を得られない<sup>67</sup>.こ のため、長母趾屈筋と、それ以外の軟部組織を足関節背 屈の制限因子として区別することは困難である.これよ り、生体における長母趾屈筋の柔軟性に対する客観的な 評価方法の確立が必要と考える.

超音波画像診断装置は、短時間で身体内部の組織を画 像化できるため、筋の柔軟性の評価方法として注目され ている<sup>8,9)</sup>. 超音波画像診断装置による筋の柔軟性評価は、 エラストグラフィによる弾性率の計測<sup>10)</sup>や筋束長の計 測<sup>11,12)</sup>,筋腱移行部(Myotendinous junction:以下 MTJ) 移動量<sup>13·17)</sup>の計測が確立されている.それぞれ、測定で きる組織に違いがあるため、長母趾屈筋の測定方法は解 剖学的な特徴を踏まえて選択する必要がある.長母趾屈 筋の筋腹は下腿近位の深層に位置し、表層に現れる部位 は内果後方に限られているが、弾性率や筋束長の計測は



**Open access** 

長母趾屈筋の筋腹を描出する必要がある. 腓腹筋やヒラ メ筋の深層に位置する長母趾屈筋は, 筋腹の描出が困難 であり, これらの計測は柔軟性評価には適していない. また,弾性率の計測で使用するエラストグラフィは高価 であり,まだ臨床で普及しておらず,筋束長の計測では 算出方法にコンセンサスが得られていないという問題点 がある.

その一方で、MTJ は深部と表層腱膜が、ひとつの腱 に収束していく部分であり、長母趾屈筋の MTJ は内果 後方で超音波画像にて明瞭に観察できる18. したがっ て、長母趾屈筋の柔軟性評価は、MTJ 移動量の計測が 適していると考えられる.一般に、MTJ が筋の伸張に 伴って移動する距離を、MTJ 移動量と定義している 13-17). MTJ 移動量は同じ足関節の背屈の運動において, 柔軟性が低いと小さく、柔軟性が高ければ大きくなる 15). 腓腹筋において、筋の柔軟性指標である筋スティフ ネスや受動トルクとの間には、正の相関が報告されてい る 17). しかし, 超音波画像診断装置の画像解析は, プ ローブの当て方の違いによって, 描出される画像の信頼 性が低くなるという欠点を持つ. 超音波画像診断装置を 用いて、長母趾屈筋の MTJ を描出することは難しくな いが、長母趾屈筋は先行研究における腓腹筋のように直 線的な走行をしていない. そのため、複数回にわたり撮 像した場合は、信頼性の高い画像が得られにくくなるこ とが課題と考えた.

そのため、本研究の目的は、超音波画像診断装置の画 像を用い、長母趾屈筋の MTJ 移動量における計測の信 頼性を検討することとした.なお、本研究における信頼 性とは測定値の再現性の高さと誤差の少なさの両者を指 す.

## 対象と方法

#### 対象

検者は、理学療法士免許取得後6年(検者A)と4年 (検者B)の2名の理学療法士とした. 被検者は足部に 外傷既往のない健常女性10名(年齢25.0±1.4歳,身長 157.1±3.1 cm,体重52.9±2.1 kg)とし、両側の足関節20 足を対象とした. 被検者には研究の内容を説明し、研究 に参加することを書面にて同意を得た. なお、本研究は 葛城病院の倫理委員会の承認を受けて実施した.(承認番 号:44)

### 方法

MTJ 移動量の測定方法と超音波画像の描出方法,統計 学的処理について述べる.

#### 1.MTJ 移動量の測定方法

被検者は端座位で股関節屈曲 90°, 膝関節屈曲 90°, 足 関節底背屈 0°の肢位をとり, 母趾中足趾節間関節は伸展 0°と伸展 30°の 2 条件について計測した(図 1a). 足関 節は, 自作した器具に伸縮性のあるバンドで下腿を固定 し, 中足部を伸縮性のないバンドで強固に固定した(図 1b). 母趾の伸展は, 30°に角度をつけた熱可塑性プラス チックに, 母趾をテーピングで固定した(図 1c).

### 2.超音波画像の描出方法

長母趾屈筋の MTJ 移動量は, 超音波画像診断装置 (HITACHI 社製 My Lab 25:リニアプローブ LA523) を用いて B モードで描出した.プローブは,外果から足 関節後面に向けて内果まで皮膚上に線を引き, 脛骨動脈 と交差する部分の 1cm 後方にあてた(図 2a).プローブ の位置ずれを防ぐため,中村ら<sup>17)</sup>の報告に準じて,音響 反射マーカーを貼付した.また,皮膚にマーキングを行 い,プローブをクリップ式自由雲台に設置した(図 2b, c).

画像処理は、母趾伸展 0°にて表層の筋膜と腱が交わる 部位を、MTJ の基準位置として、母趾伸展 30°での同部 位を移動位置とした。音響反射マーカーから、それぞれ の部位までの距離を、画像処理ソフトウェア Image J(米 国国立衛生研究所 Ver1.42)を用いて、0.1mm 単位で 計測し、これらの値の差を MTJ 移動量とした(図 3).

検者内誤差の計測は、検者2名が2日間に分け、計2 回行い、検者間誤差は、検者2名で同日内に十分な時間 を置き、1回ずつ計測を行った.

### 3.統計学的処理

統計学的処理はR (Ver2.8.1)を用いた.

### 3.1 級内相関係数

相対的信頼性の検証には、級内相関係数(intraclass correlation coefficients:以下,ICC)を用いて検者内信 頼性(1,1)と検者間信頼性(2,1)を算出した.

#### 3.2Bland-Altman 分析

絶対的信頼性は、Bland-Altmann 分析を用いて検証した. Bland-Altmann 分析は検者 A, B がそれぞれ 2 回行った検者内の測定結果と、検者間の測定結果を用いて検証した.固定誤差は、2 つの差の平均値の 95%信頼区間内に0を含まなければ固定誤差があると判定した.比例誤差は、真の値に比例して大きくなる誤差である為、散布図から回帰式を算出し、回帰式に有意性があれば、比例誤差があると判定した.







a self-made fixation device



thermoplastic plastic

# Fig.1 Position of leg and fixation of the ankle and foot during measurements

a. The position of the leg with the subject sitting on the Physical Therapy Bed Table edge. The angle of hip flexion is 90°, knee flexion is 90°, and ankle dorsiflexion is 0°.b. To fix the ankle with a plantar flexion of 0°, we attached a self-made fixation device to the leg of the subjects.

c. At a hallux extension of 30°, a thermoplastic plastic was taped to the subject's hallux.



#### Fig.2 Probe position

a. Dotted line: A straight line connecting the medial malleolus and lateral malleolus. The field of ultrasound imaging of the flexor hallucis longus muscle was fixed 1 cm posterior to the tibial artery.

b. Prevention of positional deviation relative to the long axis: acoustic reflection markers were attached to the skin.

Prevention of positional deviation relative to the short axis: the position of measurement by the probe was marked using a marking pen.

c. Prevention of probe angle deviation: a cliptype free pan head was attached to the tripod to fix the probe.





amount of change in myotendinous junction displacement

#### Fig.3 Measurement method for myotendinous junction displacement in the flexor hallucis longus muscle

The part where the surface fascia and the surface of the tendon intersect when hallux extension is 0° was considered the reference position, while the same site when the hallux extension is 30° was considered the movement position. We measured the distance between each acoustic reflection marker and the myotendinous junction displacement, and regarded the difference between the reference position and the movement position as the displacement of the myotendinous junction.

Table.1	displacement of	nyotendinous	junction,	ICC
---------	-----------------	--------------	-----------	-----

	measured value		Inter alare	
	First (mm)	Second (mm)	Intraclass correlation coefficients	
Rater A	$5.7{\pm}0.4$	$5.6\pm0.5$	ICC(1.1)0.91	
Rater B	$5.8{\pm}0.5$	$5.8{\pm}0.5$	ICC(1.1)0.82	
Rater $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}$	$5.4{\pm}0.4$	$5.5 {\pm} 0.5$	ICC(2.1)0.82	

(Mean±SD)

#### Table.2 Bland-Altman analysis

	fixed bias		proportional b	proportional bias	
	95% confidence interval	With or without	Uncorrelated test	With or without	
Rater A	$-0.04 \sim 0.14$	None	r=0.28 P=0.23	None	
Rater B	-0.14~0.16	None	r=0.13 P=0.57	None	
$\operatorname{Rater} A \boldsymbol{\cdot} B$	-0.19~0.06	None	r=0.41 P=0.07	None	

### 結果

平均移動量は,検者内においてA,Bで1回目の測定 では,それぞれ5.7±0.4mm,5.8±0.5mmで,2回目の測 定では,それぞれ5.6±0.5mm,5.8±0.5mmであった(表 1).検者間においてA,Bは,それぞれ5.4±0.4mm,

#### 5.5±0.5mm であった (表1).

検者内において ICC (1,1) は、検者 A, B でそれぞれ 0.91, 0.82 であり、検者間において ICC (2,1) は、0.82 とともに高い係数となった(表 1).



Fig.4 Bland-Altman plot

It was a scatter diagram evenly distributed in both positive and negative directions centering around 0. (left) Intra-rater error(Rater A), (right) Intra-rater error (Rater B), (under) Inter-rater error(Rater A • B)

Bland-Altman 分析では,検者内A,Bと検者間にお いて固定誤差,比例誤差のいずれも認められなかった(表 2,図4).

### 考察

生体における長母趾屈筋の柔軟性を評価する手法とし て,超音波画像を用いた MTJ 移動量を計測し,その信 頼性を検討した.その結果,検者内と検者間ともに,系 統誤差が否定され,ICCは0.8以上であった.したがっ て,考案した長母趾屈筋における MTJ 移動量の測定方 法は,高い信頼性をもって長母趾屈筋の柔軟性を評価し 得ることが示唆された.

測定値に内包される誤差は、偶然誤差と系統誤差からなる.中でも、系統誤差は平均値をずらす形で測定に影響を与え、真の値からの構造的・系統的乖離が生じる<sup>19)20)</sup>.信頼性の検討には、測定値の一致度を検討する ICC が一般に用いられているが、これは偶然誤差の検証に限定されている.ICC は系統誤差が内包された場合、その誤差の量や種類に関する情報を得ることが困難となる.そのため、本研究では系統誤差を Bland-Altman 分析を用いて検討した.Bland-Altman 分析は1対2つの測定値の差をy軸、2つの測定値の平均値をx軸にプロットした散布図を作成し、それらが内包する系統的誤差の有無

を明らかにする方法である.系統誤差のない Bland-Altmann Plot はX・Y 軸を中心に正・負双方向に均等に 分布する散布図となる<sup>19</sup>.本法における測定結果では, 開発した測定方法において系統誤差を認めず,偶然誤差 のみが存在した.偶然誤差を検討する ICC では,検者内 と検者間に0.8 以上と高い値を確認した.

超音波画像を用いて MTJ 移動量を測定する場合, 関 節運動にともないプローブが皮膚上で動く可能性があり, 致命的な測定誤差を招く.しかし、反射マーカーを基準 にすれば、プローブの位置ずれは、最小限で MTJ 移動 量の測定が可能である17). さらに本法では、プローブの 位置を一定にするため、クリップ式雲台によるプローブ の固定と皮膚上のマーキングを行った. 超音波画像では 表層の筋膜と腱の表層部分が交わる部位を、本法におけ る MTJ の計測点と定めたことで、画像処理における誤 差をさらに少なくできたと考える. さらに Windlass actionが生じないように母趾伸展角度の設定を考慮した. 長母趾屈筋における MTJ 移動量の計測では、母趾中足 趾節間関節を他動的に伸展させる必要があるが、足趾を 一定以上の角度に伸展させると Windlass action が生じ る. Windlass action は足長を短縮させるため, 発生する と長母趾屈筋が十分に伸張されないと報告されている 18). Kayano<sup>21)</sup>は母趾伸展 30°を超えると内側アーチの挙



**Open access** 

上(Windlass action)を認めたとしていることから、本研究の母趾伸展角度の条件は30°に設定した.MTJ移動量の計測を長母趾屈筋で行うにあたり、上記の工夫を行った結果、検者の経験年数に関わらず高い信頼性が得られたと考えられた.

本法は高い信頼性を示したが、健常成人を対象とした ため、足関節可動域制限の有する症例では、母趾中足趾 節間関節の伸展可動域が 30°に達しない可能性がある. また、今回の方法は長母趾屈筋の伸張量を確認するため、 ほかの軟部組織の影響を最小限にするよう考慮したが、 一切の影響を排除することはできない.特に足関節に関 節可動域制限のある症例は、足底腱膜の短縮により、 Windlass action が生じやすいと考えられる. したがっ て、症例においても健常者と同様に高い信頼性のある測 定が可能かを検証していくことが今後の課題である.

今後は臨床において足関節に前面痛や関節可動域制限 がある症例を対象に計測し、外傷や固定による長母趾屈 筋における柔軟性の変化を明らかにしたい.さらに、長 母趾屈筋における MTJ の動態と臨床症状の関連を確認 する.長母趾屈筋の柔軟性評価法が確立されることで、 最適なストレッチ方法の検討やストレッチの介入による 効果判定など、様々な理学療法分野における臨床応用が 期待される.

### 謝辞

本論文を終えるにあたり、まず被検者としてご協力い ただいた諸氏に対して心より謝意を表します.そして、 研究を進めるにあたって、多大なるご協力を賜わりまし た医療法人大植会 葛城病院 藤岡正幸先生 原田文先生 福谷克基先生 瀬尾真也先生に厚く御礼申し上げます.

## 文献

- 整形外科新患調査 2012 概要報告
  https://www.joa.or.jp/media/comment/pdf/investig ation\_2012.pdf (閲覧日 2018 年 8 月 31 日)
- 2) 児玉亮,平野裕滋,石田典子・他:足関節背屈に おける長母趾屈筋と距骨の関係に関する考察.総合 リハ 37(5):461-465,2009
- 林典雄,浅野昭裕:整形外科運動療法ナビゲーション下肢(第2版)整形外科リハビリテーション学会 (編).メジカルビュー社.東京:262-265,2014.
- 4) 工藤慎太郎:運動器のなぜがわかる臨床解剖学(第 1版).医学書院.東京:169-178,2012
- 5) Frank.HN, 相磯貞和(訳): ネッター解剖学アトラス(第5版). 南江堂.東京: 503-529, 2011

- McHugh MP, Kremenic IJ, Mishael BF, et al : The role of mechanical and neural restraints to joint range of motion during passive stretch. Med Sci Sports Exerc 30(6) : 928-932, 1989
- Toft E, Espersen GT, Kalund S, et al : Passive tension of the ankle before and after stretching. Am J Sports Med 17(4) : 489-494. 1989
- 8) 福元喜啓,池添冬芽,山田陽介・他:超音波画像
  診断装置を用いた骨格筋の量的・質的評価.理学療
  法学 42(1):65-71,2015
- 9) 中村雅俊,池添冬芽,梅垣雄心・他:超音波診断 装置を用いたストレッチング研究のトピックス.理 学療法学 42(2):190-195,2015
- 10) 池添冬芽:超音波剪断波エラストグラフィー. 整形 外科 66(8):708-712,2015
- 11) Kawakami Y, Abe T, Kuno S, et al : Traininginduced changes in muscle architecture and specific tension. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 72(1-2) : 37-43, 1995
- 12) Kumagai K, Abe T, Brechue WF, et al : Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. J Appl Physiol 88(3) : 811-816, 2000
- Morse CI: Gender differences in the passive stiffness of the human gastrocnemius muscle during stretch. Eur J Appl Physiol 111(9) : 2149-2154, 2011
- 14) Morse CI, Degens H, Seynnes OR, et al : The acute effect of stretching on the passive stiffness of 20 the human gastrocnemius muscle tendon unit. J Physiol 586(1) : 97-106, 2008
- 15) Nakamura M, Ikezoe T, Takeno Y, et al: Acute and prolonged effect of static stretching on the passive stiffness of the human gastrocnemius muscle tendon unit in vivo. J Orthop Res 29(11) : 1759-1763, 2011
- 16) Nakamura M, Ikezoe T, Takeno Y, et al: Effects of a 4-week static stretch training program 25 on passive stiffness of human gastrocnemius muscle-tendon unit in vivo. Eur J Appl Physiol 112(7): 2749-2755, 2012.
- 17) 中村雅俊,池添冬芽,武野陽平・他:筋硬度計で 測定した筋のスティフネスと受動的トルクおよび 筋の伸張量の関連性.理学療法 40(3):193-199, 2013
- 18) 林典雄, 杉本勝正: 運動療法のための運動器超音



波機能解剖(第1版). 文光堂.東京: 151-157, 2015

- 19) 下井俊典:評価の絶対信頼性.理学療法科学
  26(3):451-461,2011
- 20) EG カーマイン,水野欽司(訳): テストの信頼性と 妥当性. 朝倉書店.東京: 8-9, 1983
- 21) Kayano J : Dynamic function of medial foot arch. J Jpn Orthop Assoc 60 : 1147-1156, 1986



## Original article Myotendinous junction displacement in the flexor hallucis longus muscle - Reliability of quantitative evaluation using ultrasound images-

Ryutaro Fukumoto<sup>1\*</sup>, Takahiro Sakai<sup>2</sup>, Kan Hazaki<sup>3</sup>, Yaemi Koshino<sup>3</sup>, Maki Koyanagi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Rehabilitation, Katsuragi Hospital

<sup>2</sup> Department of Rehabilitation Science, Osaka Health Science University

<sup>3</sup> Faculty of Medical Health Science, Osaka Electro-Communication University

## ABSTRACT

## **Objective:**

We used ultrasound imaging to measure the myotendinous junction displacement associated with the extensor hallucis, and examined its reliability.

## **Methods:**

We examined the legs of 10 female adults (20 legs) which had no history of external trauma. We measured the displacement of the myotendinous junction under two conditions, namely with the MP joint of the hallux extended at either 0° or 30°. To examine the reliability of the measurements, we used intraclass correlation coefficients and Bland-Altman analysis.

## **Results:**

Intraclass correlation coefficient was  $\geq$ 0.8 for both intra-rater reliability (1,1) and inter-rater reliability (2,1). The Bland-Altman analysis did not identify any systematic errors.

## **Conclusion:**

Measurement of myotendinous junction replacement using ultrasound imaging was highly reliable.

Key words: Ultrasound imaging, Flexor hallucis longus muscle, Myotendinous junction displacement