

原著

超音波画像による長母趾屈筋の筋収縮に伴う 形状変化の分析

Shape Change Analysis of the Flexor Hallucis Longus with Muscle Contraction by Sonographic Imaging

久利 彩子¹⁾、岡 健司¹⁾、坪田 裕司¹⁾

要約：本研究の目的は、長母趾屈筋（FHL：Flexor hallucis longus）の超音波画像の解析が転倒リスクを推定する手段として活用できるかどうかを確認するために、FHLの安静時と収縮時の変化量に着目した定量的評価の可能性の有無を検討することである。対象者は健康成人11名（男性6名、女性5名、平均年齢21.9 ± 1.8歳）とした。対象者の右下腿の足底面から腓骨頭までの長さを10等分したそれぞれの部位の水平断の超音波画像から、FHLの安静時と収縮時の長径および短径を測定し、安静時と収縮時の差について統計解析を行った。その結果、下腿の足底面からの高さ6/10のFHLの長径・短径における安静時および足趾屈曲時の超音波画像の解析は、FHLの機能を推定できる可能性があると考えられた。機能推定の精度を向上させるには、FHLの解剖学的位置やその形状の個人差に注意することが重要である。

キーワード：超音波診断装置、足趾屈筋、足趾把持力、長径・短径

序文

人は立位時に身体の動揺を伴っている。身体には、動揺しても転倒しないよう、中枢神経系や筋骨格系の諸機能が備わっている¹⁾。このうち、足部は唯一床面に接する身体部分で、安定した立位姿勢の保持のための機能を持つ²⁾。特に、前足部には足の指（足趾）があり、前のめりになった時には、転倒しないように「踏ん張る」という重要な活動を行なう³⁾。このときは足趾把持力が負荷を支える力を発揮する⁴⁾。ま

た、筋出力は筋の断面積に相関することが知られている^{5,6)}。以上から、前足部がどの程度「踏ん張る」ことができるのかを評価すると、対象者の前方転倒リスクの程度が判断できる。足趾把持力の低下と転倒、上肢を前方に伸ばして移動させる前方リーチ距離の減少との関係については多数の報告がある^{3,7-10)}。また、足趾トレーニングによってバランス能力が改善することもわかっている¹¹⁻¹³⁾。臨床においては、これらのバランス能力の評価として、ファンクショナルリーチテストがよく利用されている¹⁴⁾。しかし、この評価法は対象者が立位姿勢を保持できることが前提条件である。したがって、荷重制限や安静が必要で、立位での運動が困難な受傷

Ayako Hisari

E-mail : hisaria@kawasakigakuen.ac.jp

1) 大阪河崎リハビリテーション大学
リハビリテーション学部 理学療法専攻

後まもない患者対象に実施することは不可能となる。特に安静臥床が長く続く場合には、身体活動低下による廃用症候群として筋力低下がもたらす緒変化の中で、バランス機能への影響として、転倒危険が増すとされている¹⁵⁾。これらの患者の離床後に起こり得る転倒可能性が事前にわかれば、転倒防止のための早期の筋力トレーニング導入の必要性の有無を知ることができる。この実現のためには、立位姿勢でなく、臥位姿勢でも可能な評価が有効と考えた。そこで我々は、足趾把持力発揮に關与する足趾屈筋群である主要な筋として長母趾屈筋 (FHL: Flexor hallucis longus) を用いた評価に着目した。その手段として、従来、表面筋電による検査が挙げられるが、FHLが深層に位置する筋である¹⁶⁾ことから、この検査による評価は困難と考えられる¹⁷⁾。その点で、超音波画像診断装置により得られる超音波画像は、検査筋の筋厚が視覚化され¹⁸⁾、二次元上で評価が可能と予測できる。筆者らは、この超音波画像診断装置より得られる超音波画像の解析が転倒リスクを推定する手段として活用できるかどうかを確認するために、筋の安静時と収縮時の変化量に着目したFHLの定量的評価の可能性の有無を検討することを目的として研究を実施した。

対象

対象者は、健常成人11名（男性6名、女性5名、平均年齢 21.9 ± 1.8 歳）とした。対象者の属性を表1に示す。対象者には、研究内容を説明し、同意を得た。なお、本研究は大阪河崎リハビリテーション大学研究倫理委員会の承認を得て実施した（承認番号 OKRU25-A118）。

方法

対象者にベッド上で腹臥位をとらせ、足部をベッド端より外に出るようにした。検査は右下腿で実施することとし、右下腿を露出させた。右下腿の足底面から腓骨頭までの長さを10等分した。足底面の高さを0/10とし、中枢側に向かって順に、腓骨頭の高さが10/10となるよう、マークを下腿最背側部に付けた。マークを付けた部位に超音波診断用ゼリー（エム・シー・メディカル社製）を十分塗布した。検査者1人が超音波画像診断装置（ACUSON P300、SIEMENS社製）のBモードにて、プローブを下腿の水平断画像が得られるよう、下腿軸に直角に配置し、また、対象者の生体内の筋厚が変化することのないように、軽く接触させた。検査者は、対象者のFHLをモニター画面で確認した。FHLを確認後、検査者は対象者に、「足の指を曲げて下さい。」と、右足趾を屈曲する

表1 対象者の属性

対象者	年齢 (歳)	性別	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m^2)
a	21	男	174	63	20.8
b	24	男	174	58	19.2
c	21	男	173	60	20.0
d	21	男	167	58	20.8
e	27	男	178	69	21.8
f	21	男	163	57	21.5
g	21	女	150	45	20.0
h	21	女	162	45	17.1
i	21	女	160	50	19.5
j	22	女	161	49	18.9
k	21	女	168	56	19.8
平均	21.9 ± 1.8		166.4 ± 7.8	55.5 ± 7.2	20.0 ± 1.2

ように口頭指示した。屈曲する強さについては、特に指示は与えなかった。このとき、足関節角度は屈曲・伸展すなわち底背屈中間位とした。合図後、対象者が右足趾を屈曲している時に、検査者は、超音波診断装置のモニター画面に映し出された対象者のFHLの運動に伴う形状変化をリアルタイムに確認し、そのおよそ2秒後に、「楽にして下さい。」と再び合図を行った。記録は、対象者が足趾を屈曲する前の安静時から開始し、検査者の合図で再び安静にもどるまでとした。これらの動画を、パーソナルコンピュータに取り込み、安静時と収縮時の画像をそれぞれ収集した。FHLを識別することが可能であった部位は、4/10、5/10、6/10の高さであった。これらの安静時と収縮時の画像に3点のマークを付けた。これらのマークの位置は、FHLが腓骨に接する最深部の点(マーク1)、FHLの最外側部の点(マーク2)、FHLが脛骨

神経と横下腿筋間中隔に接する最内側部の点(マーク3)とした。これら3点の内、マーク2とマーク3を結んだ線を長径とした。また、長径に対する垂線をマーク1から横下腿筋間中隔まで結んだ線を、短径とした(図1)。これらの長径と短径の長さを、National Institutes of Health社製の画像処理ソフトImage Jを用いて測定した。4/10、5/10、6/10の高さでのFHLの長径および短径について、安静時と収縮時の差を、対応のあるt検定で解析した。有意水準は5%とした。さらに、長径・短径とも有意差を認めた高さ6/10の安静時に対する収縮時の比の平均と標準偏差を求めた。

結果

FHLの安静時と収縮時の超音波画像を確認した結果、変化が視覚的に確認可能であった部位は、高さ4/10、5/10、6/10の三箇所であった。これらの部位における長径および短径を、それぞれ図2、図3、図4に示す。安静時と収縮時で比較した結果、差が認められたのは、高さ4/10の短径、高さ6/10の長径、高さ6/10の短径の3箇所であった。高さ4/10の短径は、安静時9.3mm、収縮時12.6mmで、有意差が認められた。高さ6/10の長径は、安静時27.4mm、収縮時22.6mmで、有意差が認められた。高さ6/10の短径は、安静時7.7mm、収縮時9.9mmで、有意差が認められた。下腿の高さ6/10のFHLにおける安静時に対する収縮時の比は、長径では 0.83 ± 0.13 (平均 \pm 標準偏差)、短径では 1.28 ± 0.19 であった。下腿の高さ6/10のFHLにおける収縮時の短径における長径の比は、最小1.5で最大3.6であった。

考察

本研究で、足趾屈筋群であるFHLが、超音

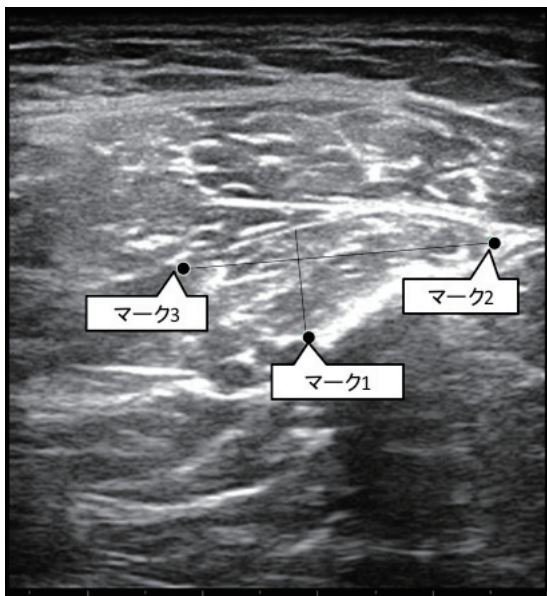


図1 長母趾屈筋の測定ポイント

- マーク1：長母趾屈筋(FHL)が腓骨に接する最深部の点
- マーク2：FHLの最外側部の点
- マーク3：FHLが脛骨神経と横下腿筋間中隔に接する最内側部の点
- 長径：マーク2とマーク3を結んだ線
- 短径：長径に対する垂線をマーク1から横下腿筋間中隔まで結んだ線

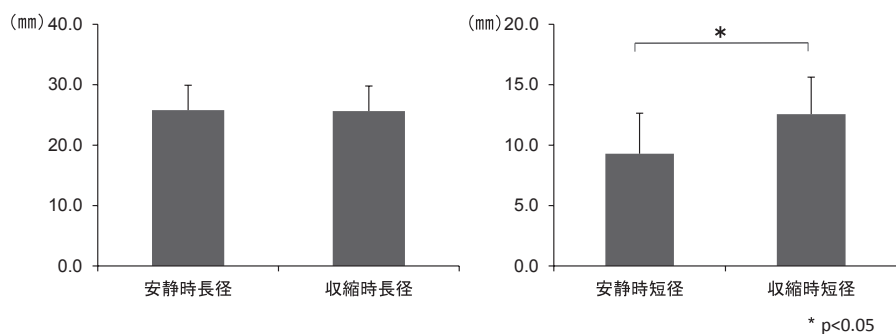


図2 下腿4/10の高さの長母趾屈筋の安静時と収縮時における長径と短径

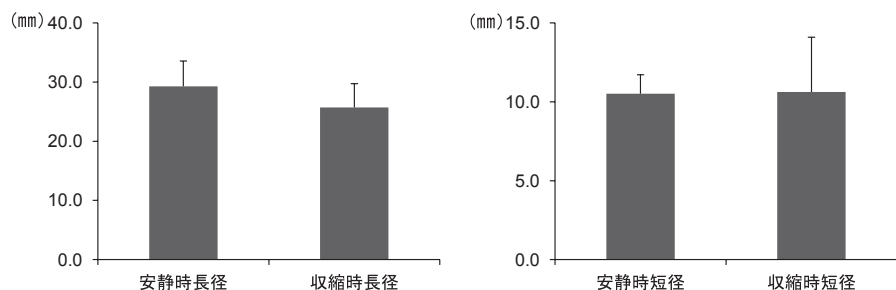


図3 下腿5/10の高さの長母趾屈筋の安静時と収縮時における長径と短径

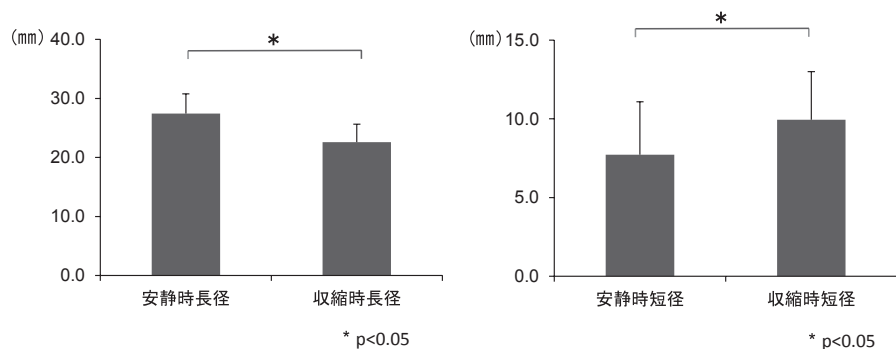


図4 下腿6/10の高さの長母趾屈筋の安静時と収縮時における長径と短径

波画像を用いて安静時と収縮時の変化量が、転倒リスクを推定する手段として活用できるかどうか、検討した。FHLの横断面の観察に適した部位は、下腿（足底面～腓骨頭）の、足底面から4/10、5/10、6/10の高さであることが明らかとなった。これらの部位におけるFHLの横断面では、FHLが収縮すると長径は小さくなり、短径は大きくなる傾向がみられた。特に、4/10の高さの短径、6/10の高さの長径、6/10の高さの短径において、安静時と収縮時の差が統計学的に認められた。下腿の6/10の高さにおいては、長径、短径ともに、安静時と収縮時

の差が大きいということになる。以上の結果から、下腿6/10の高さにおいて、FHLの長径・短径を安静時および足趾屈曲時に計測することで、FHLの機能を推定できる可能性があると考えられた。今後、FHLの形状変化と足趾把持力との相関を調査することで、さらにFHLの機能推定の精度が増すことが期待できる。下腿の高さ6/10のFHLにおける安静時に対する収縮時の比は、長径では 0.83 ± 0.13 、短径では 1.28 ± 0.18 であった。また、下腿の高さ6/10のFHLにおける収縮時の短径における長径の比は、1.5から3.6の範囲で、個体差があった

ことと、本研究の対象者のBMIは $20.0 \pm 1.2 \text{ kg/m}^2$ であったことから、収縮時の長径および短径の形状変化の程度には、肥満基準で普通体重と評価される対象者であっても個体差があることがわかった。これは、個人によってFHLの下腿における走行の高さや幅などの解剖学的位置や形状が異なることが影響していると考えられた。すなわち、転倒リスクを推定する手段として超音波画像を用いて解析を行う際には、FHLの解剖学的位置やその形状には個人差があるという可能性に注意する必要がある。これに関しては、下腿の観察部位を増やすことでFHLの形状変化をより詳細に解析し、さらに、筋力発揮と合わせて評価を進めることが重要だと考える。

結論

対象者の右下腿の足底面から腓骨頭までの長さを10等分したそれぞれの部位の水平断の超音波画像から、FHLの安静時と収縮時の長径および短径を測定した。その結果、下腿の足底面からの高さ6/10のFHLの長径・短径における安静時および足趾屈曲時の超音波画像の解析は、FHLの機能を推定できる可能性があると考えられた。

謝辞

本研究は、平成25年度大阪河崎リハビリテーションの大学共同研究費の補助を受けて実施した。本研究にご協力いただきました皆様に心よりお礼申し上げます。

付記

本研究の一部は、第119回日本解剖学会総会・全国学術集会（岡健司・久利彩子・坪田裕司 足趾屈筋の筋厚と立位バランス能力との関係）、第120回日本解剖学会総会・全国学術集会

（Kenji OKA, Ayako HISARI, Yuji TSUBOTA. Quantitative Observation of Flexor Hallucis Longus Muscle by Using Ultrasonograph）、コメディカル形態機能学会第14回学術集会・総会（岡健司・久利彩子・坪田裕司 超音波画像からみた長母趾屈筋の形状と足趾把持筋力）で発表した。

[引用・参考文献]

- 1) Anne Shumway-Cook, Marjorie H. Woollacott
監訳 田中繁, 高橋明 “モーターコントロール 研究室から臨床実践へ” 医歯薬出版, 東京, 2013, p.49-50.
- 2) 福田泉, 小林忌門 若年健常者に対する足把持筋力トレーニングの効果. 理学療法学 2008, 35(5): 261-266.
- 3) 加辺憲人, 黒澤和生, 岸田あゆみ, 他 足趾が動的姿勢制御に果たす役割に関する研究. 理学療法科学 2002, 17(3): 199-204.
- 4) Hisari A, Konishi Y, Yoshida M Pseudo Floating Toe Contacts the Floor with Unstable Standing Posture among Healthy Young. IFMBE Proceedings 2010; 31: 636-639.
- 5) Ikai M, Fukunaga T Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. Int. Z. angew. Physiol. einsch. Arbeitsphysiol. 1968; 26(1): 26-32.
- 6) 琉子友男, 福永哲夫 等尺性最大筋力に及ぼす筋断面積および筋線維組成の影響. 体力科学 1986, 35(3): 168-174.
- 7) 辻野綾子, 田中則子 足趾圧迫力と前方リーチ動作時の足圧中心位置の関係. 理学療法科学 2007, 22(2): 245-248.
- 8) Duncan PW, Weiner DK, Chandler J, et al. Functional reach: a new clinical measure of balance. J Gerontol. 1990; 45: M192-M197.
- 9) 浅井仁, 奈良勲, 立野勝彦, 他 立位姿勢保持

- における足 趾の作用に関する研究. PT ジャーナル 1989, 23(2) : 137-141.
- 10) Weiner, DK、Duncan, PW、Chandler, J、et al. Functional Reach: A Marker of Physical Frailty. Journal of the American Geriatrics Society 1992, 40 : 203-207.
- 11) 木藤伸宏、井原秀俊、三輪恵、他 高齢者の転倒予防としての足指トレーニング効果. 理学療法学 2001, 28(7) : 313-319.
- 12) 相馬正之、五十嵐健文、工藤渉、他 足指把持力トレーニングが Functional Reach Test や最大1歩幅, 歩行能力に与える影響について. Japanese Journal of Health Promotion and Physical Therapy 2012, 2(2) : 59-63.
- 13) 村田伸、忽那龍雄 在宅障害高齢者に対する転倒予防対策 - 足把持力トレーニング -. 日本在宅ケア学会誌 2004, 7(2) : 67-74.
- 14) 松澤正 “理学療法評価学 改訂第3版” 金原出版, 東京, 2012, p.155-156.
- 15) Bamman MM, Clarke MSF, Feeback DL, et al. Impact of resistance exercise during bed rest on skeletal muscle sarcopenia and myosin isoform distribution. Journal of Applied Physiology 1998 ; 84 (1) : 157-163.
- 16) 金子丑之助 “日本人体解剖学 第一巻” 南山堂, 東京, 1982, p.511-512.
- 17) 相馬正之、村田伸、甲斐義浩、他 足趾把持力発揮時における下腿筋の筋活動. 理学療法科学 2013, 28(4) : 491-494.
- 18) 木野達司 “運動器の超音波” 南山堂, 東京, 2009, p. 19.