

足の内在筋・外在筋の働きと新しい運動療法

渡邊耕太*

キー・ワード：足内在筋・外在筋，足趾トレーニング，MTP flexion exercise

〔要旨〕 足部の筋肉は大きく外在筋と内在筋に分けられる。外在筋のうち足趾にかかわる屈筋は、長母趾屈筋と長趾屈筋である。内在筋は足部の安定化に働く。足趾の屈曲様式によって活動する筋は異なり、外在筋には趾全ての関節を屈曲させる機能があり、内在筋は主に MTP 関節を屈曲させる。解剖学的、生体力学的知見をもとに、足趾外在筋と内在筋に特化したトレーニング法を開発した。本稿では、足部屈筋の解剖学的な特徴やバリエーションについて解説した。また、近年足内在筋に特化した運動療法が開発されており、これらについても概説した。解剖学的構造が運動や機能を規定する。その知識に基づいた評価や運動療法が、スポーツ障害の予防や治療、スポーツパフォーマンスの向上に重要である。

●はじめに

足は通常の移動動作（歩く、走る）では、床面と接する唯一の運動器である。その機能は体重の支持、推進力の発揮、衝撃吸収、バランス維持などスポーツパフォーマンスに重要である。足の機能低下によって足部疾患だけでなく、下肢や体幹、上肢のスポーツ障害を発症しうる。機能低下には運動療法が重要であり、他の部位の障害、例えば投球障害肩や腰痛症に対しては、いわゆるインナーマッスルやアウターマッスルに特化した運動療法が発達している。一方、足趾の運動療法は以前からタオルギャザーや足ゆびじゃんけんなどが行われてきたものの、ターゲットとする筋や機能への効果がはっきりしていなかった。近年、足の内在筋やターゲット筋を明確にしたトレーニングが開発され、その報告が散見される。

筆者らも、この領域における基礎研究に取り組み、解剖、個々の筋収縮によって引き起こされる足部や足趾の 3 次元運動、足趾の屈曲様式の違い

による筋活動の変化を検討してきた。その結果、新規の足趾運動療法を開発し、その臨床的効果を検証した。本稿では、これらの基礎研究や臨床研究、足部運動療法を紹介する。足や足趾の機能や運動療法への理解を深めることで、今後のスポーツ障害の予防や治療に少しでも役立てば幸いである。

●足の筋腱の解剖と機能

足趾の運動にかかわる筋は外在筋と内在筋に分けて考えるとわかりやすい。

1. 外在筋：長母趾屈筋（FHL）と長趾屈筋（FDL）の 2 つである。両筋ともに趾の末節骨に停止するので、その機能は中足趾節関節（MTP 関節）と趾節間関節（遠位趾節間関節：DIP 関節、近位趾節間関節：PIP 関節）の屈曲である。手ていうとじゃんけんのグーの肢位である。

1-1. FHL の解剖バリエーション：FHL の停止は母趾末節骨というのが教科書的知識だが、実際には FHL には分枝が存在し、外側趾も屈曲させる。過去の報告では FHL 腱が第 2 趾と第 3 趾にも至るものが最も多く（40-64%）、続いて第 2 趾に至るものが 8-41% である¹⁻³⁾。FHL 分枝がある趾

* 札幌医科大学理学療法第二講座

Corresponding author：渡邊耕太（wkota@sapmed.ac.jp）

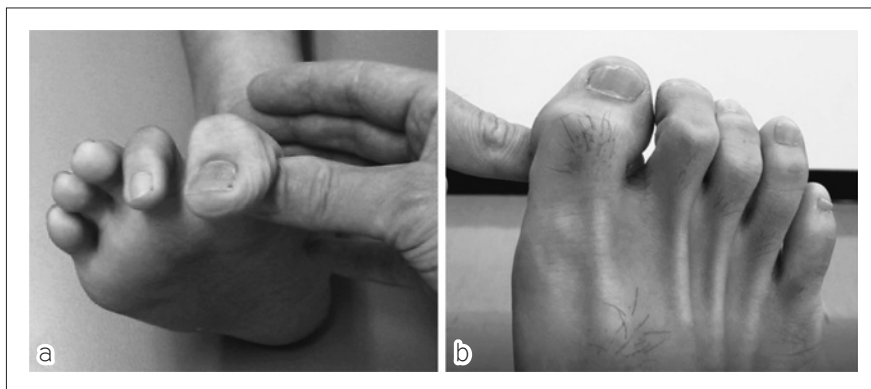


図1 FHL分枝テスト（文献6から図を引用）
母趾基節部底側から指で抵抗をかけながら母趾 IP 関節を自動屈曲させた際に、どの趾まで屈曲するかをみる。
a. 第2趾まで FHL 分枝のある例
b. 第3趾まで FHL 分枝のある例

とない趾では屈曲力などの足趾機能が異なるはずである。筆者らは、まず生体において FHL 分枝数を確認する方法を確立した (FHL 分枝テスト, 図1)⁴⁻⁶⁾。そして、この FHL 腱分枝が FDL と同等に外側趾を屈曲させることを確認し⁷⁾、FHL 分枝がある趾の方がない趾よりも屈曲力が大きいことを示した⁸⁾。

1-2. 外在筋の機能：足の大きな動きは外在筋によりコントロールされる。外在筋腱の個々の解剖学的位置を考えることで、それらが収縮した時に生じる足の運動はある程度推測できる。しかし、個々の筋による詳細な3次元運動はわかっていなかった。筆者らは献体を用いて個々の筋収縮による足趾や足部の3次元運動を計測した⁹⁾。3次元運動は踵骨、中足骨、基節骨、中節骨、末節骨に設置した磁気センサー (3SPACE FASTRAK, Polhemus, Colchester, USA) により計測した。献体は関節可動性が温存される Thiel 法固定遺体を用いた。一つの筋腱の牽引量に伴う脛骨に対する踵骨の動きと、足趾各関節運動を3次元的に定量評価した。その結果、母趾では母趾外転筋と同様に FHL も母趾を屈曲・回外・内転させる作用を認めた。すなわち、FHL には外反母趾変形を予防する機能のあることがわかった。また、踵骨の運動では長腓骨筋と長趾伸筋が外がえしと外転を生じさせたが、外がえしの角度変化は長趾伸筋でより大きかった (図2)。この知見は、足関節内がえし捻挫の運動療法による予防や治療に有用と考えられる。

2. 内在筋：起始が足にある筋である。

2-1. 足底方形筋の解剖バリエーション：教科書的には起始は踵骨底側の内側と外側 (内側頭, 外側頭) で、停止は FDL 腱である。筆者らの50足を用いた解剖研究¹⁾では、外側頭は12足 (24%) で欠損していた。停止部位は FDL 腱が100%であったが、前述の FHL 腱分枝にも94%と高率に停止していた。すなわち足底方形筋は FDL 腱と FHL 腱の両方に高率に停止し、これらの趾屈曲機能をサポートしていることがわかった。ちなみにこの足底方形筋は、手にはこれに該当するものがなく、他の動物と比べてもヒトで特に発達した筋である。以上から、足底方形筋はヒトが2足歩行をする際に足趾の屈曲力を増強する重要な筋と考えられる。

2-2. 内在筋の機能：手では内在筋が優位に収縮すると、“内在筋プラス肢位” (MP 関節屈曲位, PIP・DIP 関節伸展位) をとることがよく知られている。足でも筋の解剖学的構造から同様の現象が生じることが予想される。筆者らは足趾の屈曲様式の違いによる内在筋と外在筋の活動への影響を、超音波エラストグラフィによって検討した¹⁰⁾。その結果、足趾の抵抗屈曲運動時に DIP・PIP 関節が伸展位では、それらが屈曲位の時よりも内在筋 (母趾外転筋, 短母趾屈筋, 短趾屈筋) の剪断弾性率が有意に高かった。それと反対に、DIP・PIP 関節が屈曲位の方が外在筋 (FHL, FDL) 剪断弾性率が有意に高かった。すなわち足も“内在筋プラス肢位”で、内在筋を優位に賦活できることがわかった。これらの知見をもとに、足の内在筋をターゲットにした新規足趾屈曲トレーニング

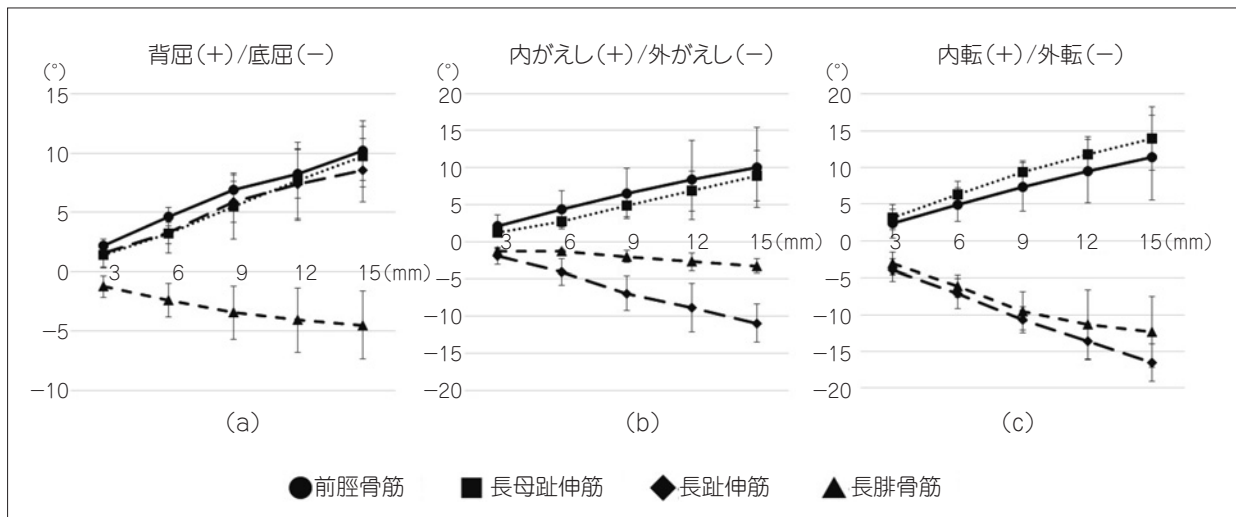


図2 個々の筋収縮による足3次元運動 (文献9から引用改変)
Thiel 法固定遺体を用いて、足の各筋腱を牽引した際の脛骨に対する踵骨の3次元運動を計測した。長腓骨筋と長趾伸筋の牽引量増加 (図の横軸) によってともに外がえしと外転を生じたが、外がえしの角度変化は長趾伸筋でより大きかった (b, c)。

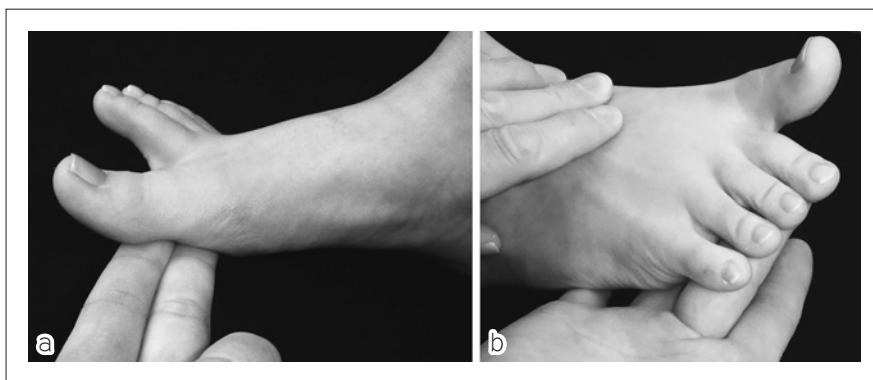


図3 足内在筋トレーニング法 (MTP flexion exercise) (文献6から図を引用)
IP 関節は伸展位に保ち、指や手で抵抗を底側から基節骨に加えながら MTP 関節を自動屈曲させる運動。母趾と第2～5趾は分けて行う (a, b)。

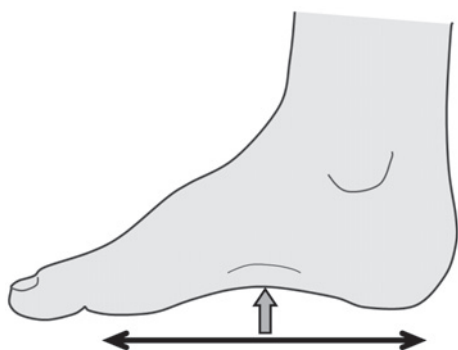


図4 Short-foot exercise
足底を床につけた状態で踵から中足骨頭までの距離 (両矢印線) を縮め、内側縦アーチを挙上する (矢印)。その際に足趾が屈曲しないようにする。

を開発した (MTP flexion exercise, 後述, 図3)^{6,11)}。

●足の内在筋トレーニング

肩や体幹などの他部位では、いわゆるインナーマッスルやアウトマッスルに特化したトレーニング法が開発され、スポーツ障害の予防やパフォーマンス向上に用いられている。足においても、近年内在筋の重要性が認識されるとともに、これに焦点をあてたトレーニング法が開発されている。

・short-foot exercise (SF) (図4)：足内在筋トレーニングとして代表的なものである。近年のシ

ステマティックレビューでも、足内在筋トレーニングとしてこの方法が最も多く用いられていたことと、その有用性が報告されている¹²⁾。方法は足底を床につけた状態で踵から中足骨頭までの距離を縮め内側縦アーチを挙上する。その際に足趾が屈曲しないようにする。効果は高いが、方法を習得することが簡単でない場合のあることが難点である。特に、足趾機能の落ちている例や小児ではなかなか上手にできないことを経験する。

・toes-spread-out exercise：中足骨底部と踵を床面につけて全足趾を伸展させ、その後小趾を外側、母趾を内側に広げながら床面につけた状態を維持する。基礎研究でSFとともに足底の内在筋活動が増加したことが確認されている¹³⁾。

・母趾外転筋底屈・外転の複合エクササイズ：片脚立位で母趾を開いた位置で床につけ、前足部を回内しながら小趾球を浮かせ、前足部荷重となるように母趾に体重をかける。母趾外転筋の活動が高まることが報告されている¹⁴⁾。

・MTP flexion exercise (MTPF) (図 3)：前述の基礎研究をもとに考案した、IP 関節(PIP・DIP 関節)を伸展位に保ったまま MTP 関節を屈曲させる抵抗運動である。SF と比較して同等以上の筋活動が得られることを確認している¹¹⁾。比較的簡便であり、対象者の状態やトレーニングの進み具合によって抵抗を変えられるという特徴がある。上記の肢位が保たれていれば内在筋に効果が得られるので、抵抗には徒手のほか床や台を用いるなど、バリエーションや工夫が可能である。

応用例として、足部内在筋と外在筋の違いを考慮した足趾トレーニングの効果を、足部スポーツ障害を有する成長期を対象に検討した¹⁵⁾。内在筋トレーニングには MTPF を用い、外在筋トレーニングとしては FHL 分枝の付着しない趾の DIP, PIP, MTP 関節屈曲抵抗運動を行った。これは FDL をターゲットとしたトレーニングとなり、FHL 分枝の付着しない趾の判定には前述の FHL 分枝テストを用いた。4 週間のトレーニングで足趾の屈曲力と圧迫力は有意に増加し、足ゆびじゃんけんを点数化して評価した足趾巧緻性も向上した。

●終わりに

ヒトは哺乳類で唯一の直立二足歩行をする動物である。より安定し効率的に立ち、移動するため

に足アーチ構造や踵の発達など、解剖学的変化を遂げてきた。筋肉では、足底方形がヒトで特に発達している。足や足趾の機能発揮には、外在筋と内在筋が協調して働く必要がある。McKeon ら¹⁶⁾は foot core system という概念を提唱し、神経系の neural subsystem, 骨や靭帯などの passive subsystem, そして筋肉からなる active subsystem の 3 つが、足の安定性と柔軟性の両立を必要とする foot core system を形成すると解説した。この中の active subsystem では外在筋を global movers, 内在筋を local stabilizers と位置づけている。これら外在筋と内在筋の機能をさらに解明していくことが必要である。それらの知見によってより有効な運動療法が開発され、スポーツ障害を含めた運動器疾患の予防や治療、日常生活における転倒予防やスポーツパフォーマンス向上につながることを期待される。

文 献

- 1) 上村杏菜, 渡邊耕太, 廣田健斗, 他. 足趾屈筋群の付着部とその相互関係. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2020; 28: 441-446.
- 2) Edama M, Kubo M, Onishi H, et al. Anatomical study of toe flexion by flexor hallucis longus. Ann Anat. 2016; 204: 80-85.
- 3) Plaass C, Abuharbid G, Waizy H, et al. Anatomical variations of the flexor hallucis longus and flexor digitorum longus in the chiasma plantare. Foot Ankle Int. 2013; 34: 1580-1587.
- 4) Hirota K, Watanabe K, Saito Y, et al. Flexor hallucis longus tendon branch test: Development and validation of a new method to assess anatomical variation of the tendinous slip. Foot Ankle Surg. 2020; 26(6): 607-613.
- 5) 廣田健斗, 渡邊耕太, 齋藤悠城, 他. 長母趾屈筋の機能 FHL 分枝テストの開発. 整形・災害外科. 2018; 61(7): 861-868.
- 6) 渡邊耕太. 足の診療エッセンス. 東京: 文光堂; 21-22, 34-35, 2021.
- 7) Hirota K, Watanabe K, Saito Y, et al. Toe flexion movement with tendon excursion based on anatomical variation: A cadaver study. Journal of Orthopaedics, Trauma and Rehabilitation. 2022; 29: 1-7.
- 8) Hirota K, Watanabe K, Teramoto A, et al. Flexor

- hallucis longus tendinous slips and the relationship to toe flexor strength. *Foot Ankle Surg.* 2021; 27(8): 851-854.
- 9) Negishi K, Watanabe K, Teramoto A, et al. Three-dimensional motion analysis of the hindfoot resulting from simulated contraction of individual lower leg muscles utilizing Thiel-embalmed cadavers. *Foot Ankle Surg.* 2022; 28(7): 1040-1044.
- 10) Hirota K, Watanabe K, Negishi K, et al. Evaluation of the activities of the intrinsic and extrinsic muscles of the foot during toe flexion with or without interphalangeal joint flexion using ultrasound shear wave elastography. *The Foot.* 2022. in press.
- 11) 廣田健斗, 渡邊耕太, 根岸奎輔, 他. 足部内在筋をターゲットとしたトレーニング方法の開発—超音波エラストグラフィを用いたエクササイズ中の活動評価—. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2020; 28(4): S208.
- 12) Jaffri A, Koldenhoven R, Saliba S, et al. Evidence of intrinsic foot muscle training in improving foot function: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Athletic Training.* 2022.
- 13) Gooding TM, Feger MA, Hart JM, et al. Intrinsic foot muscle activation during specific exercises: A T2 time magnetic resonance imaging study. *J Athl Train.* 2016; 51: 644-650.
- 14) 佐竹勇人, 小林祐介, 井上純爾, 他. 新たに考案した母趾外転筋エクササイズの検討. *JOSKAS.* 2018; 43(2): 536-537.
- 15) 渡邊耕太, 廣田健斗, 寺本篤史, 他. 足部外在筋と内在筋の違いを考慮した新規足趾トレーニングの効果検証. *日臨床スポーツ医学会誌.* 2021; 29(4): S193.
- 16) McKeon PO, Hertel J, Bramble D, et al. The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function. *Br J Sports Med.* 2015; 49(5): 290.