足趾エクササイズが足内側縦アーチに及ぼす影響について

Effect of the Toe Exercises on the Medial Longitudinal Arch of the Foot

城下 貴司¹⁾ 福林 徹²⁾

TAKASHI SHIROSHITA, PT, MSc¹⁾, TORU FUKUBAYASHI, MD, PhD²⁾

¹⁾ School of Physical Therapy, Faculty of Health Science, Gumma PAZ College: 1-7-1 Tonyamachi, Takasaki City, Gunma 370-0006, Japan. TEL+81 27-388-0952 FAX +81 27-388-0954 E-mail: shiroshita@paz.ac.jp

²⁾ Faculty of Sport Sciences, Waseda University

Rigakuryoho Kagaku 27(4): 397-400, 2012. Submitted Jan. 31, 2012. Accepted Feb. 28, 2012.

ABSTRACT: [Purpose] The toes play an important role, yet the role of toe flexor strength is poorly understood. We have performed clinical and electromyogram (EMG) studies of the toe exercises we developed. However, the relationship between our toe exercises and the medial longitudinal arch (MLA) has remained unclear. The purpose of this study was to examine the relationship between the toe exercises and MLA. [Subject and Methods] The subjects were 20 feet of 20 participants (10 males, 10 females), whose mean age was 22.5 ± 3.6 years old. The participants performed three toe exercises and the towel gathering exercise. The three toe exercises were isotonic contractions (10 times) of the great toe flexor, 2nd-to-5th toe flexors and 3rd-to-5th toe flexors. All subjects randomly performed the three toe exercises and the towel gathering exercise. Before and after each exercise, we assessed MLA using the Navicular Drop test (ND). [Results] ND before the training was 4.34 mm. ND after towel gathering was 4.94 mm, without a significant difference from before exercise. After the great toe exercise, ND was 5.25 mm, a significant drop compared with before exercise. After the 2nd-to-5th toe flexors and 3rd-to-5th toe flexors exercises, ND was 3.07 mm, and 3.32 mm respectively, with no significant drop in comparison with before exercise. [Conclusion] The great toe flexor exercise significantly decreased MLA. The relationship between the towel gathering exercise and MLA was poor. However, this exercise is similar to the great toe flexor exercise. On the other hand, the exercises of 2nd-to-5th toe flexors and 3rd-to-5th toe flexors increased MLA.

Key words: toe Function, The Medial Longitudinal Arch of Foot, Navicular Drop

要旨:〔目的〕足趾機能は重要とされているが未知な部分も多い。我々は足趾機能の臨床研究や筋電図解析を行ってきた。しかしながら足趾機能と足内側縦アーチ (MLA) の関係はわかっていない。本研究の目的は足趾エクササイズと MLA の関係を検討することである。〔対象〕健康者 20 名, 20 足, 平均年齢 22.5 ± 3.6 歳とした。〔方法〕被験者にはタオルギャザリングエクササイズ (TGE) と 3 種類の足趾エクササイズ (母趾底屈エクササイズ, 2 から 5 趾底屈エクササイズ, 3 から 5 趾底屈エクササイズ) をランダムに行い, 各々の足趾エクササイズ前後に Navicular Drop (ND) を計測し比較した。〔結果〕介入前 ND は 4.34 mm であった, TGE 後 ND は 4.94 mm で有意差を示さなかったが, 母趾底屈エクササイズ後 ND は 5.25 mm で有意に低下した, 2 から 5 趾底屈エクササイズ後 ND は 3.07 mm, 3 から 5 趾底屈エクササイズ後 ND は 3.32 mm となり各々有意に ND は低下しなかった。〔結語〕母趾底屈エクササイズは MLA を低下させた。TGE は特に変化を示さなかった。しかしながらその変化は母趾底屈エクササイズに類似した。一方で 2 から 5 趾底屈エクササイズ, 3 から 5 趾底屈エクササイズは MLA を高くする効果を示し MLA との関係性を示した。

キーワード: 足趾機能, 足内側縦アーチ, ナビキュラードロップ

¹⁾ 群馬パース大学 保健科学学部理学療法学科: 群馬県高崎市間屋町 1-7-1 603 研究室 (〒370-0006) TEL 027-388-0952

²⁾ 早稲田大学 スポーツ科学学術院

I. はじめに

足内側縦アーチ（以下MLA）の高さと形状は、厚い足底腱膜、ばね靱帯、内側足根中足関節の安定性、短足底靱帯、足部の外在・内在筋によって維持される。従来足アーチのとらえ方は、筋の要素よりも靱帯や骨格構造が本来のアーチの役割を担っていると考えられてきた^{1,2)}。しかし近年、外在筋の関与³⁻⁵⁾や足内在筋⁶⁻⁸⁾の要素が重要であると報告されている。我々も筋の要素が重要であるとする近年の視点から扁平足障害に対して足趾エクササイズを考案した⁹⁾。

扁平足を正確に定義することは困難とされている。扁平足とは形態学的にMLAの慢性的な低下あるいは異常な低さを示す¹⁰⁾。扁平足障害の治療はテーピング¹¹⁾、MLA保持を目的とした足底板¹²⁾が一般的に処方される。その他、足趾でタオルを巻き込むタオルギャザリングエクササイズ（以下TGE）が推奨されている文献を散見できる。我々は扁平足障害や有痛性扁平足障害に対して考案した足趾エクササイズとTGEを比較した。その結果、TGEよりも母趾以外の足趾底屈エクササイズで疼痛軽減効果を示した⁹⁾。その後、その根拠を示すために足趾エクササイズの筋電図解析も試みた。母趾底屈エクササイズでは内がえし筋群よりも外がえし筋（長腓骨筋）の筋活動を示した、一方で母趾以外の足趾底屈エクササイズではその対称的な筋放電パターンを示した¹³⁾。

しかしながら、表面筋電図解析ではMLAの形態学的変化をとらえることはできなかった。筋電図解析の限界があった。足趾エクササイズ前後でMLAを直接計測し足部の形態学的変化を調査する必要がある。

本研究では考案した足趾エクササイズがMLAの形態学的変化にどのような影響を及ぼすかを明確にすることを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

特に足趾運動をしても問題なく、過去6ヶ月間足関節周囲の傷害により医療機関にかかっていない健康者20名、20足（男10名女10名）が対象となった。対象者は平均年齢 22.5 ± 3.6 歳、平均身長 163.6 ± 9.3 cm平均体重 61.5 ± 14.0 kgであった。

すべての被験者に対して十分な実験説明を行った。その後同意を得られた被験者が対象となった。また本研究は群馬パース大学および早稲田大学の倫理委員会の承認を得て遂行した。

2. 方法

本研究で採用するMLAの測定法は、Brodyが考案したNavicular Drop（以下ND）とした¹⁴⁾。NDの計測につ

いては、すでに高い信頼性が報告されている¹⁵⁻¹⁷⁾。しかし我々は端坐位の足部荷重量を20%（片足10%）に設定することでより高い信頼性を得た。本研究でもその方法を採用した¹⁸⁾。まず、足部疾患の臨床経験が10年以上ある理学療法士が舟状骨結節をマーキングした。被験者は昇降式ベッド上に端坐位姿勢とした。Brodyの報告に従って脛骨粗面、母趾を正面に位置させ、距骨下関節が中間位を距骨の触診にて確認した。さらに大腿骨面に水平計を置き、膝および股関節が90°になるように昇降式ベッドの高さを調整した。端坐位足部荷重を20%荷重（片足10%）に合わせ床から舟状骨結節の高さを計測した。その後立位で床から舟状骨結節の高さを再び計測した。最後に坐位と立位の舟状骨高の差をNDとした（図1）。

計測機材は、2台のデジタルヘルスマーターとデジタルノギス（A&D社製AD-5765-150）で計測した。水平計を使用し大腿部に置いて関節角度を一定にさせた。さらに、坐面の高さの微調整は昇降式ベッド（KC-237-PARAMOUNT BED）を使用した。

介入項目はTGE、母趾による底屈エクササイズ、2から5趾による底屈エクササイズ、そして3から5趾による底屈エクササイズとした。いずれも可及的に先行研究⁹⁾と統一させるように設定した。なお、介入の順番が結果に影響しないように乱数表を使用しランダムに足趾エクササイズを選択した。

TGEの正確な定義は存在しない。本研究では、まず被験者には股関節および膝関節が約90度屈曲位の端坐位姿勢にてTGEを施行した。後足部や下腿の運動でなく中足部から前足部での運動になるように注意した。すなわち踵から中足骨頭が地面に接地状態での足趾完全伸展から、踵は接地した状態で趾頭が地面に接地状態での足趾完全屈曲になるように指示した。すなわち屈曲相でも伸展相でも踵は接地した状態とし後足部の運動は抑制

図1 NDの計測

した。時間は3分間とした。

母趾底屈エクササイズについては、まず大腿遠位端に3 kgの重錘をのせる。矢状面では膝および股関節の代償運動抑制を目的に頭部は膝の直上に位置させるまで体幹前傾位とした。前額面では脛骨粗面が正中位となり膝および股関節は内外転中間位とした。次いで高さ約5 cm程度の台の上に母趾のみのせる。足趾肢位は、趾節間関節（IP関節）、中足趾節間関節（MP関節）を伸展位とすることを原則とした。さらに測定者が70から80% MVC程度の負荷を足背からかけた状態で踵をあげる距腿関節底屈動作を行う。頻度は10回1セットとし他の足趾は可及的にリラクゼーションするように指示した。

2から5趾底屈エクササイズについては、負荷、体幹、股関節および膝関節の肢位は母趾エクササイズ同様とした。足趾は高さ約5 cm程度の台の上に2から5趾をのせ、DIP関節は伸展位、PIP関節は屈曲位、MP関節は中間位から屈曲位を原則とした。最後に測定者が70から80% MVC程度の負荷を足背からかけた状態で踵をあげる距腿関節底屈動作を行った。頻度は10回1セットとし母趾は可及的にリラクゼーションするように指示した。

3から5趾底屈エクササイズについては、台の上に3から5趾をのせる以外は2から5趾エクササイズとほぼ同様である。ただし2から5趾よりも1趾少ない状態での距腿関節底屈運動であるため負荷をかけ過ぎないように配慮した。母趾と2趾は可及的にリラクゼーションするように指示した。

解析は介入前NDと各種足趾エクササイズ後のNDを比較した。統計処理はFriedman検定後、Wilcoxon符号順位検定による統計処理を行った。なお有意水準5%未満にて解析し統計ソフトIBM SPSS Statistics19を使用した。

III. 結 果

本研究結果を表1に示した。TGEはエクササイズ前のNDと比較して有意差を認められなかった。母趾底屈エクササイズは施行前と比較して有意にNDが低下した。一方で、2から5趾、3から5趾底屈エクササイズは、各々施行前と比較すると有意にNDが低下しなかった。以上のように各々の足趾エクササイズで特徴的な結果となった。

IV. 考 察

本研究は、我々が考案した足趾エクササイズがMLAにどのように影響するかを検討したものである。TGEでは変化を示さず、母趾以外の足趾底屈エクササイズではMLAが上昇した。一方で母趾底屈エクササイズではMLAがより低下した結果となった。以上から筋電図解

表1 NDの結果

	Mean ± SD
Pre	4.34 ± 1.70
TGE	4.94 ± 1.49
Great	5.25 ± 1.44 *
2-5toe	3.07 ± 1.65 *
3-5toe	3.22 ± 1.51 *

Pre：介入前

TEG：タオルギャザリングエクササイズ

Great：母趾底屈エクササイズ

2-5toe：2から5趾底屈エクササイズ

3-5toe：3から5趾底屈エクササイズ

Friedman, Wilcoxon符号順位検定

n=20 baselineとの有意差 *p<0.05

析では分からなかったMLAの形態学的変化をとらえることができた。

本研究の被験者と我々の先行研究⁹⁾の被験者は20.3 ± 10.7歳とほぼ同年代を対象とすることができた。さらに、本研究の被験者の介入前NDは4.50 mmであった。Brody¹⁴⁾によると10 mm以内は正常としている。Loudon¹⁹⁾らは6～9 mmは正常値とし、それ以上は異常値としてとらえることを推奨している。以上の先行研究より本研究で異常値を対象とすることはなかった。

NDはBrody以外にも多くの研究者たちが採用している。Bennett²⁰⁾らは健康ランナーのNDは約3.6 mmだが足部障害を持つランナーは約6.8 mmであったと報告した。Woodford-Rogers²¹⁾らは男性前十字靭帯損傷（以下ACL損傷）の患足8.4 mm、健康足5.9 mmであったとしている。一方で女性ACL損傷では患側5.0 mm健康足3.0 mmとし患足の方が扁平足の傾向があることを報告している。Headlee⁷⁾らは足趾疲労実験を行いベースライン時のND10.0 ± 3.8 mmから疲労後11.8 ± 3.8 mmとなり1.8 mm有意に低下したことを報告している。以上のようにNDは複数の分野で既に採用されている。またわずか2もしくは3 mmの違いが意味を持つことがわかる。本研究の結果もわずか2 mm弱のちがいであるが有意差を認めている。

MLA機構にはウインドラス機構²²⁾という巻き上げ現象がある。歩行の足尖離地のとき足趾は受動的に背屈し体の重心が足部を通過する。足底筋膜は緊張し中足骨頭と踵の間隔が縮まりアーチを高くする。Hicks²²⁾は第1列が背屈しただけでMLAが高くなる現象を巻き上げ現象（ウインドラス現象）と表現した。考案した足趾エクササイズとウンドラス機構とは一見関連が高いように思えるがその関係性は低いと思える。なぜならウンドラス機構とは足底筋膜による巻き上げ現象であり自動的要素もあるものの他動的要素である。一方足趾エクササイズは自動的要素である。以上の点から足趾エクササイズと

ウンドラス機構はどちらもMLAを促通する要素はあるが、そのメカニズムは異なるものであることは注意し解釈したい。

本研究の結果の解釈を以下に行う。母趾底屈エクササイズはMLAを低下させた。我々の筋電図解析¹³⁾では内がえし筋群よりも長腓骨筋の活動を認め、長腓骨筋の外がえし作用によりMLAが低下したのかもしれない。

TGEは、エクササイズ前後で特にNDの変化を示さなかった。しかしながらその現象は母趾底屈エクササイズに類似した。我々の臨床研究でもTGEと母趾底屈エクササイズは共に疼痛抑制効果を示さなかった⁹⁾。またTGEを含めた全趾を使用したトレーニングであり特定の足趾運動を規定することができない。反射的に母趾を優位に作用させたと思われる。

2から5趾および3から5趾による底屈エクササイズはMLAを増加させた。すなわちMLAの促通を目的とする場合、母趾以外の足趾に着目すべきことが示唆された。逆に母趾の機能を抑制することも同時に示唆された。我々の筋電図解析では、外がえし筋群よりも内がえし筋群が筋活動を示し母趾底屈エクササイズと対称的な筋放電パターンを示した¹³⁾。

臨床上、扁平足障害や有痛性扁平足障害に対する理学療法では、母趾を抑制し母趾以外の足趾の機能に着目することが示唆された。また考案した足趾エクササイズはどの足趾を促通すべきかを評価する方法としても臨床上有効ではないかと考えている。なお、NDは2 mm程度の変化なら十分視覚的に変化を認識でき臨床応用も可能と考える。

本研究はいくつかの限界があった。第1に計測者が一人（著者）であり、その情報バイアスを排除することは不可能であった。第2に横断研究であるが故に一過性の変化でしかない場合がある。第3にTGEの負荷を正確に統一することは困難であった。

最後に、本研究では筋電図解析では示すことができなかった足部形態学的変化を示すことができた。今後、情報バイアスを踏まえ計測は結果を知らないものが担当する研究デザインを構築する必要があると考えている。

引用文献

- 1) Basmajian JV, Stecko G: The role of muscles in arch support of the foot. *J Bone Joint Surg Am*, 1963, 45: 1184-1190.
- 2) 梅木義臣: 足内側アーチの静力学的研究. 日本整形外科学会雑誌, 1991, 65(10): 891-901.
- 3) Kitaoka HB, Luo ZP, An KN: Effect of the posterior tibial tendon on the arch of the foot during simulated weightbearing: biomechanical analysis. *Foot Ankle Int*, 1997, 18(1): 43-46.
- 4) Thordarson DB, Schmotzer H, Chon J, et al.: Dynamic support of the human longitudinal arch. A biomechanical evaluation.

- Clin Orthop Relat Res*, 1995, (316): 165-172.
- 5) Sherman KP: The foot in sport. *Br J Sports Med*, 1999, 33(1): 6-13.
- 6) Fiolkowski P, Brunt D, Bishop M, et al.: Intrinsic pedal musculature support of the medial longitudinal arch: an electromyography study. *J Foot Ankle Surg*, 2003, 42(6): 327-333.
- 7) Headlee DL, Leonard JL, Hart JM, et al.: Fatigue of the plantar intrinsic foot muscles increases navicular drop. *J Electromyogr Kinesiol*, 2008, 18(3): 420-425.
- 8) Jam B: Evaluation and retraining of the intrinsic foot muscles for pain syndromes related to abnormal control of pronation advanced physical therapy education institute, 2006, <http://www.aptei.com/articles/pdf/IntrinsicMuscles.pdf>. (Accessed Jan. 22, 2012).
- 9) Shiroshita T, Fukubayashi T: Comparison of towel-gathering exercise and toe exercises for the painful accessory navicular. *J Phys Ther Sci*, 2011, 23(3): 455-458.
- 10) Kitaoka HB, Luo ZP, An KN: Three-dimensional analysis of flatfoot deformity: cadaver study. *Foot Ankle Int*, 1998, 19(7): 447-451.
- 11) 入谷 誠, 福井 勉, 山口光國: 結果の出せる整形外科理学療法. メジカルビュー社, 東京, 2009, pp279-280.
- 12) 黒澤 尚, 星川吉光, 高尾良英・他: スポーツ外傷学 IV 下肢. 医歯薬出版, 東京, 2001, p388.
- 13) Shiroshita T, Fukubayashi T: Surface electromyogram analysis of toe exercises: a comparison of toe function. *J Phys Ther Sci*, 2012, 24(1): 59-62.
- 14) Brody DM: Techniques in the evaluation and treatment of the injured runner. *Orthop Clin North Am*, 1982, 13(3): 541-558.
- 15) Mueller MJ, Host JV, Norton BJ: Navicular drop as a composite measure of excessive pronation. *J Am Podiatr Med Assoc*, 1993, 83(4): 198-202.
- 16) Sell KE, Verity TM, Worrell TW, et al.: Two measurement techniques for assessing subtalar joint position: a reliability study. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1994, 19(3): 162-167.
- 17) Trimble MH, Bishop MD, Buckley BD, et al.: The relationship between clinical measurements of lower extremity posture and tibial translation. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2002, 17(4): 286-290.
- 18) 城下貴司, 福林 徹: 内側縦アーチの信頼性の検討. 日本臨床スポーツ医学会誌, 2011, 19(4): S170.
- 19) Loudon JK, Jenkins W, Loudon KL: The relationship between static posture and ACL injury in female athletes. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1996, 24(2): 91-97.
- 20) Bennett JE, Reinking MF, Pluemer B, et al.: Factors contributing to the development of medial tibial stress syndrome in high school runners. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2001, 31(9): 504-510.
- 21) Woodford-Rogers B, Cyphert L, Denegar CR: Risk factors for anterior cruciate ligament injury in high school and college athletes. *J Athl Train*, 1994, 29(4): 343-346.
- 22) Hicks JH: The mechanics of the foot. II. The plantar aponeurosis and the arch. *J Anat*, 1954, 88(1): 25-30.