

日常生活における擬似的な裸足歩行が バランス機能および歩行能力におよぼす影響

島 根 大 学 原 丈 貴

The Effectiveness of Walking Close to Barefoot on Physical Balance Function and Walking Ability

by

Taketaka Hara

*Shimane University, Faculty of Education,
Department of Health and Sports Education*

ABSTRACT

It was reported that toe flexor strength (TFS) was related to physical balance function and walking ability. Since barefoot walking has a situation to catch the ground by toes over and over again, it was supposed that barefoot walking elevate the TFS. But, effectiveness of barefoot walking on physical function is not clear. The purpose of this study was to investigate the effectiveness of walking close to barefoot on TFS, physical balance function and walking ability. Six healthy young males (22.2 ± 2.3 years, 174.0 ± 2.6 cm, 71.3 ± 9.4 kg, 23.6 ± 3.2 kg/m², body fat: 19.1 ± 5.3 %) without exercise habit were participated in this study. Subjects used five-finger shoes which sole is very thin for 6w after 4w control period. Balance function parameters, walking ability and TFS were measured every 2 weeks. Although all parameters were not changed after control period, TFS (pre: 26.8 ± 2.8 kg, post: 35.1 ± 4.8 kg, $p=0.037$) and tandem gait test (pre: 4.73 ± 0.48 sec, post: 3.49 ± 0.18 sec $p=0.033$) were significantly improved after intervention period. In addition, functional reach test ($p=0.077$) and maximum one-step length ($p=0.054$) tended to improve after five-finger shoes intervention.

Center of gravity movement (both-legs and single-leg standing) and 10m walking time were not changed after intervention. Results of this study suggest that walking with five-finger shoes was effective on TFS and dynamic balance function.

要 旨

本研究では、靴底が非常に薄い5本指シューズを用いた擬似的な裸足環境が、足趾把持筋力、バランス機能、歩行能力に及ぼす影響について検討することを目的とした。対象は運動習慣を持たない成人男性6名である。まず5本指シューズを着用しない4週間のコントロール期間を設け、その後の6週間をシューズ介入期間とするデザインとし、2週間毎に各種測定を実施した。コントロール期間には、何れの測定項目にも有意な変化はみられなかったが、シューズ介入後には、足趾把持筋力 ($p=0.037$) および継ぎ足歩行 ($p=0.033$) に有意な改善が認められた。重心動揺軌跡長、ファンクショナルリーチテスト、最大1歩幅、10m歩行時間については、シューズ介入後に有意な変化はみられなかった。以上より、5本指シューズを用いた擬似的な裸足歩行は、足趾把持筋力および動的バランス機能の改善に有効であることが示唆された。

緒 言

現代社会では靴を履く生活が常識となっている。しかし、ヒトは進化の過程において長期にわたり靴を履かない生活を送ってきたことから、靴を履いている状況はヒトが本来有している足の機能を発揮する上で、必ずしも良いとは言えない局面もあるのではないだろうか。実際に、裸足走行の方が一般的な運動靴を着用して走るよりも着地時の衝撃が小さく¹⁾、走行中の酸素摂取量も低く抑えられること^{2,3)}が示されており、さらに、裸足走行の方が傷害の発症を抑制できることを示

唆する報告⁴⁾が出されている。そのため、靴の着用が足本来の機能にマッチングしていない足の使い方を誘発している、あるいは靴を履くことによって、逆に足の機能を十分に引き出せていない局面もあるのではないかと考えられる。

近年、足趾の把持筋力が注目されている。足趾把持筋力は歩行機能⁵⁻⁸⁾、バランス機能^{9,10)}、疾走能力¹¹⁻¹³⁾、跳躍能力^{11,12)}など基礎的な運動能力との関係が示されており、裸足の状態で行うムカデ歩きやタオルギャザー等のトレーニングが、足趾把持筋力の改善に有効であることも報告されている¹⁴⁻¹⁶⁾。裸足歩行は、足趾で直接地面を掴む動きを繰り返すことから、日常の生活動作である歩行運動を継続して裸足の状態で行うことで、足趾の把持筋力に対するトレーニング効果が期待できるのではないかと考えられる。しかしながら、現代の生活環境下において屋外での裸足活動を実践することは非現実的であり、安全上の問題も有している。そこで本研究では、靴底が非常に薄く、つま先部分が指ごとにセパレートされた裸足感覚に近い5本指シューズに着目した。

箕浦ら¹⁷⁾は、運動習慣の無い学生を対象に4週間にわたる5本指シューズの着用効果について検討し、足趾把持筋力の有意な改善を認めている。また、その着用効果は、5本指シューズを着用する介入期間終了後2週間にわたって継続することも確かめられている。このことから、5本指シューズを用いた擬似的な裸足環境が足趾把持筋力を向上させることが示唆される。裸足の効果については様々な議論がなされているが科学的なエビデンスは充分でなく、擬似的な裸足環境ではあるものの、このような裸足環境の効果を縦断的視点から

捉えた研究は非常に限られている。5本指シューズの着用により足趾把持筋力の向上が認められれば、把持筋力との関係が示されているバランス機能や歩行機能などについても改善されることが期待できるが、裸足歩行とバランス機能および歩行能力の関係については殆ど検証されておらず、それらの関係については不明である。

そこで本研究では、日常生活において5本指シューズを用いた擬似的な裸足歩行環境が、足趾把持筋力に加えてバランス機能および歩行能力に及ぼす影響について検討することを目的とした。

1. 研究方法

1. 1 対 象

運動習慣を持たない成人男性6名を対象とする（年齢：22.2±2.3歳，身長：174.0±2.6cm，体重：71.3±9.4kg，BMI：23.6±3.2kg/m²，体脂肪率：19.1±5.3%）。体脂肪率は、インピーダンス法を用いた体組成計（Inbody 720：Biospace社製）により計測した。対象者には事前に研究の目的、方法について十分な説明を行い、研究参加の同意を得た。本研究のプロトコルは島根大学医学部の倫理審査委員会において承認を得た。

1. 2 介入デザイン

本研究の目的に最も合致する方法は、屋外においても裸足で歩行を実践することである。しかし、現代の生活環境下において屋外での裸足活動を依頼することは非現実的であることから、本研究では、靴底が非常に薄く、つま先部分が指ごとにセパレートされた裸足感覚に近い5本指シューズを外出時に着用することとした。

5本指シューズの着用効果を精度良く検証するには、できるだけ同じような生活スタイルを持ったコントロール群を設定する必要がある。そのため、本研究では、先ず5本指シューズを着用しない4週間のコントロール期間を設け、その後、同

一集団に対して5本指シューズを用いた介入期間（シューズ介入期間）を6週間設けるデザインとした。

1. 3 5本指シューズ

シューズ介入期間中に使用するシューズは、Vibram five fingers シューズ（Barefoot Japan 株式会社、写真1）とし、研究対象者のサイズに応じたシューズを提供した。シューズ介入期間中は、外出の際に指定のシューズをできるだけ着用するように指示した。



写真1 Five-finger shoes

1. 4 測定時期および測定項目

本研究のスタディカレンダーを図1に示した。コントロール期間およびシューズ介入期間ともに、2週間毎に各計測を実施した。即ち、コントロール期間（4週間）は開始時、2週間後、4週間後の計3回、シューズ介入期間（6週間）は、介入開始から2週間後、4週間後、6週間後（介入終了時）の計3回であり、総計6回の計測を行った。

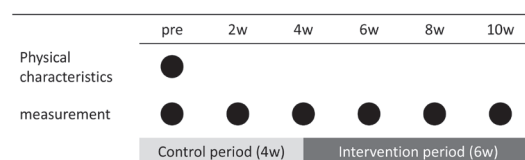


図1 Study calendar

測定項目は、静的バランス機能の指標として重心動揺軌跡長（両脚立位姿勢、片足立位姿勢）、動的バランス機能の指標として、ファンクショナルリーチテスト（FRT）、継ぎ足歩行を計測した。また、歩行能力の指標として最大一歩幅、10m 歩行時間を測定し、あわせて、バランス機能や歩行能力との関連が示されている足趾の把持筋力についても計測した。

1. 4. 1 重心動揺軌跡長

重心動揺検査は重心軌跡測定器（T.K.K.5810：竹井機器工業社製）を用い、両脚立位姿勢および片足立位姿勢による 60 秒間の重心動揺の総軌跡長（cm）を開眼条件で測定した。測定時に対象者の目線の位置を一定にするため、対象者の位置より 2m 前方の目線の高さにマーカーを設置し、そのマーカーを注視してできるだけ静止するよう指示した。片足立ちの支持足については任意とし、2 回目の検査以降は、1 回目の検査と同じ方の支持足で行うよう統一した。

1. 4. 2 FRT

肩幅に足を開いた状態から、両上肢を前方 90°に挙上し、足を踏み出さないようにバランスを保ちながら前方に傾斜して、指先の到達距離を測定した。測定は 2 回行い最大値を記録とした。

1. 4. 3 継ぎ足歩行

スタートラインに両足のつま先を揃えて立った姿勢から、片方の足の踵がもう一方の足のつま先に触れるように一直線上に踏み出し、同じように逆の足を踏み出して歩く動作で 10 歩を歩き終えるまでの時間を計測した。十分に試技を行った後に計測を 3 回実施し、その平均値を記録とした。

1. 4. 4 最大一歩幅

両足をそろえた状態からできるだけ大きく前方に 1 歩踏みだし、バランスを保ったまま後方の足を踏み出した足まで引き寄せることのできる最大幅を計測した。測定は 2 回実施し良い方を記録とした。

1. 4. 5 10m 歩行時間

10m の距離を最大努力で歩行した際のタイムを計測した。10m の計測区間の手前 2m には加速のための区間を設け、タイムの計測は、加速区間を過ぎた地点から開始した。測定は手動計測により 3 回実施し、その平均値を記録とした。

1. 4. 6 足趾把持筋力

把持筋力の測定には、足趾筋力測定機Ⅱ（竹井機器工業株式会社製 TKK - 3364）を用いて実施した。測定は、座位で股関節角度、膝関節角度、足関節角度がそれぞれ 90 度になる位置で左右 2 回ずつ行い、それぞれ良い方の平均値を記録とした。

1. 5 統計処理

結果は全て平均 ± 標準偏差で示した。各測定項目の経時変化については、対応ありの一元配置分散分析（one-way repeated measures ANOVA）を用いて検討した。有意差が認められた項目については、多重比較検定として Bonferroni 法を用い研究開始時の測定値との差について検討した。有意水準の判定は $p < 0.05$ とした。

2. 研究結果

各測定項目の経時変化を表 1 に示した。分散分析の結果、FRT（ $p < 0.001$ ）、継ぎ足歩行（ $p < 0.001$ ）、最大一歩幅（ $p = 0.004$ ）、足趾把持筋力（ $p = 0.001$ ）には有意差が認められたが、重心動揺軌跡長（両脚立位姿勢、片足立位姿勢）、および 10m 歩行時間については、有意な変化はみられなかった。

多重比較検定を行ったところ、いずれの測定項目についてもコントロール期間中に有意な変化は認められなかった。継ぎ足歩行は、シューズ介入後の全ての測定において研究開始時の記録と有意な差が認められ、足趾把持筋力は、シューズ介入終了時の記録と研究開始時の記録に有意な差が認められた。FRT および最大一歩幅については、

表 1 Time course of each measurement parameter during control and intervention period

		control period			intervention period		
		pre	2w	4w	6w	8w	10w
center of gravity movement							
both-legs standing	cm	142.1 (27.8)	174.9 (31.7)	167.2 (41.8)	172.6 (36.4)	165.9 (43.0)	167.2 (40.0)
single-leg standing	cm	456.5 (52.8)	477.4 (58.1)	465.1 (57.6)	444.9 (77.3)	460.9 (91.4)	484.0 (81.8)
FRT	cm	38.8 (3.8)	40.0 (3.5)	41.2 (1.7)	43.5 (3.7)	43.8 (2.9)	45.5 (3.5)
tandem gait test	sec	4.73 (0.48)	4.47 (0.38)	4.23 (0.40)	3.70 (0.25)*	3.54 (0.13)*	3.49 (0.18)*
maximum one-step length	cm	128.5 (5.5)	129.2 (4.7)	131 (3.7)	133.2 (6.8)	135.3 (8.2)	136.0 (7.0)
10m walking time	sec	2.72 (0.35)	2.62 (0.34)	2.56 (0.20)	2.60 (0.23)	2.48 (0.21)	2.43 (0.12)
toe flexor strength	kg	26.8 (2.8)	26.5 (3.1)	27.3 (4.1)	31.2 (3.9)	33.1 (5.1)	35.1 (4.8)*

mean(s.d.), *: $p < 0.05$ vs pre

多重比較検定では何れの水準間についても差は認められなかったが、研究開始時の記録とシューズ介入後の記録間の有意水準は、それぞれ FRT が $p=0.077$ 、最大一步幅が $p=0.054$ であった。

3. 考 察

6 週間の 5 本指シューズの着用効果について検証したところ、足趾把持筋力および継ぎ足歩行に有意な改善効果がみられたことから、5 本指シューズを用いた擬似的な裸足環境は、足趾の把持筋力や動的バランス機能に対して有効であることが示唆された。同一集団に対してシューズ介入前にコントロール期間を設けているデザインであり、両期間の生活パターンに大きな差異はないと考えられることから、本研究の結果は、5 本指シューズを用いた擬似的な裸足環境の影響によるものであると推察される。

Abe et al.¹⁸⁾ は、足部の内在筋である短趾屈筋と母趾外転筋の筋断面積と足趾把持筋力に有意な正の相関を認めており、把持筋力も関連筋群の横断面積にある程度規定されるものであると考えられる。本研究では、6 週間のシューズ介入により把持筋力の向上が認められたものの、足趾に対して高い負荷を加える介入方法ではなく、期間も 6 週間と短期間であるため筋肥大が引き起こされているとは考えにくい。そのため、本研究での把持筋力の改善は、筋肥大によるものではなく神経系の関与によるものではないかと推察される。福田

ら¹⁴⁾ もトレーニング介入によって把持筋力の向上を認めているが、その要因は神経的要素の影響によるものと考察している。日常生活における擬似的な裸足歩行と把持筋力の関係について検討した先行研究は、筆者が知る限りでは箕浦の報告¹⁷⁾ のみであり、今回も同様に把持筋力の改善が認められた。裸足に近い条件での歩行が、足跡の把持筋力の改善に有効であることは示されたが、そのメカニズムについてはより詳細な検証が必要である。

足跡の把持筋力と重心動揺軌跡長に有意な相関関係が認められている^{9,10)}。また、小林ら¹⁶⁾ は高齢者を対象に、タオルギャザーやお手玉握りのトレーニング実施し、トレーニング後に把持筋力の向上と重心動揺の総軌跡長の有意な短縮を認め、その要因は足底部の感覚受容器（メカノレセプター）の賦活化ではないかと考察している。本研究では、シューズ介入により足趾把持筋力の有意な改善を認めたが、静的なバランス機能の指標である重心動揺の軌跡長については変化がみられなかった。本研究で用いた 5 本指シューズは、靴底が非常に薄く、一般的な運動靴に比べて歩行時には地面の感触をよりダイレクトに感じられるものとなっている。そのため、擬似的な裸足環境によりメカノレセプターの賦活化が引き起こされている可能性はあるが、対象者が若年者であり静的なバランス機能は決して低くない集団であったことも、改善がみられなかった要因として考えられ

る。また、若年者を含めた幅広い年齢層（20代から80代）を対象とした検討¹⁹⁾では、足趾把持筋力と重心動揺の軌跡長には相関関係が認められていないことから、若年者と高齢者では立位時のバランス保持機能に対する把持筋力の関与の度合いが異なることも考えられる。一方で、動的なバランス機能の指標である継ぎ足歩行には有意な改善が認められた。シューズ介入期間中は擬似的な裸足環境下で繰り返し歩行運動が行われていることから、足底の感受性の亢進が筋と神経系の協調性に何らかの好影響を与えている可能性も考えられる。

最大一步幅およびFRTは、分散分析において有意差が認められたものの、多重比較検定の結果、何れの水準間についても差は認められなかった。この結果は全体としては改善傾向がみられるが、個々の対比較では差が検出できなかったことを示している。これにはサンプルサイズが小さかったことが影響していると考えられる。最大一步幅は膝関節伸展筋力や足趾把持筋力と関係することが報告²⁰⁾されており、また、FRTは測定時に前傾姿勢をとりながら足趾で床を押さえ込む動作を伴うことから、この2つの測定項目の記録の変化には、足趾把持筋力の改善も関与していることが示唆される。5本指シューズの着用効果や各測定項目間の関連性についてより明確に示すためにも、十分なサンプルサイズを確保した上での検証が求められる。

歩行機能やバランス機能との関係が示されつつある足趾の把持筋力は、裸足でのムカデ歩きやタオルギャザー等のトレーニングにより改善することが報告^{12, 14-16)}されているが、このようなトレーニングを実施する場合、対象が自主的に継続してトレーニングを行うモチベーションの維持、あるいはトレーニングのための時間の確保が前提となる。一方、本研究で採用した介入方法は、日常生活において外出時に履くシューズを変えるだけで

あり、トレーニングのための時間を意識的に確保する必要もない。シューズを履く作業そのものは日常の生活動作であり、対象に煩わしい思いをさせることも少ないことから、本研究の結果は、幅広い対象にフィードバックが可能であると考えられる。

本研究の研究限界として、まず、5本指シューズの効果を得るために必要な着用時間や活動内容について言及できない点が挙げられる。6週間のシューズ介入によって継ぎ足歩行や足趾把持筋力に改善はみられたものの、1日あたりの着用時間や行動内容については記録を取っておらず、介入開始時に日常生活内での着用を指示したのみであった。シューズの効果と着用時間の関係について更なる検証が必要である。また、本研究の対象者は若年者であり、バランス機能や歩行能力の改善がQOLとも強く関係する高齢者において、同様の効果が得られるかについては言及できない。バランス能力や歩行能力の改善がより求められる高齢者を対象とした検証も必要である。

4. まとめ

運動習慣を持たない若年男性を対象に、日常生活における5本指シューズを用いた擬似的な裸足環境が、足趾把持筋力およびバランス機能、歩行能力に及ぼす影響について検討した。その結果、6週間のシューズ介入により、足趾把持筋力と継ぎ足歩行に有意な改善が認められたことから、擬似的な裸足歩行は足趾の機能や動的バランス機能を向上させることが示唆された。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、研究助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。また、本研究への参加協力を快諾してくれた対象者の皆様に深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) Lieberman D. E., Venkadesan M., Werbel W. A., Daoud A. I., D'Andrea S., Davis I. S., Mang'eni R. O., Pitsiladis Y., Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners, *Nature*, **463**: 531-535 (2010)
- 2) Berrones A. J., Kurti S. P., Kilsdonk K. M., Cortez D. J., Melo F. F., Whitehurst M., Barefoot Running Reduces the Submaximal Oxygen Cost in Female Distance Runners, *J. Strength Cond. Res.*, **30**(8): 2348-253 (2016)
- 3) Hanson N. J., Berg K., Deka P., Meendering J. R., Ryan C. Oxygen cost of running barefoot vs. running shod, *Int. J. Sports Med.*, **32**: 401-406 (2011)
- 4) Shih Y., Lin K. L., Shiang T. Y., Is the foot striking pattern more important than barefoot or shod conditions in running? *Gait. Posture*, **38**: 490-494 (2013)
- 5) 二階堂素子, 安彦鉄平, 阿波邦彦, 足立愛実, 井上椋太, 山川瑠奈, 窓場勝之, 白岩加代子, 堀江淳, 村田伸, 地域在住の前期高齢女性と後期高齢女性の握力および足趾把持力が身体機能に及ぼす影響, ヘルスプロモーション理学療法研究, **6**(2): 53-57(2016)
- 6) 岩瀬弘明, 村田伸, 阿波邦彦, 松尾奈々, 高齢患者の最速歩行と最大低速歩行に及ぼす下肢筋力の貢献度, ヘルスプロモーション理学療法研究, **2**(4): 163-167(2012)
- 7) 新井智之, 藤田博暁, 新井俊希, 域在住高齢者における足趾把持力の年齢, 性別および運動機能との関連, 理学療法学, **38**(7): 489-496(2011)
- 8) Hughes J., Clark P., Klenerman L., The importance of the toes in walking, *J. Bone Joint Surg. Br.*, **72**: 245-251 (1990)
- 9) 村田伸, 開眼片足立ち位での重心動揺と足部機能との関連—健康女性を対象とした検討—, 理学療法科学, **19**(3): 245-249 (2004)
- 10) 竹井和人, 村田伸, 甲斐義浩, 足趾機能と静的・動的バランス機能との関連—内容の妥当性の検討—, 西九州リハビリテーション研究, **2**: 13-19, (2009)
- 11) Morita N., Yamauchi J., Kurihara T., Fukuoka R., Otsuka M., Okuda T., Ishizawa N., Nakajima T., Nakamichi R., Matsuno S., Kamiie S., Shide N., Kambayashi I., Shinkaiya H., Toe flexor strength and foot arch height in children, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **47**: 350-356 (2015)
- 12) Hashimoto T., Sakuraba K. Strength training for the intrinsic flexor muscles of the foot: effects on muscle strength, the foot arch, and dynamic parameters before and after the training, *J. Phys. Ther. Sci.*, **26**: 373-376 (2014)
- 13) 山田健二, 須藤明治, 足把持力と疾走速度との関係, 理学療法学, **30**(4): 519-521(2015)
- 14) 福田泉, 小林量作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, **35**(5): 261-266(2008)
- 15) 竹井和人, 村田伸, 甲斐義浩, 村田潤, 足把持力トレーニング効果, 理学療法学, **26** (1): 79-81 (2011)
- 16) 小林隆司, 細田昌孝, 峯松亮, 佐々木久登, 前島洋, 田中幸子, 金村尚彦, 松尾彰久, 高柳清美, 吉村理, 高齢者の足指把握訓練が静的重心動揺に及ぼす影響, 日本災害医学会会誌, **47**: 633-636(1999)
- 17) 箕浦良文, 原丈貴, 安藤彰朗, 日常生活における5本指シューズの着用が足趾把持筋力と動的バランス機能に与える影響, 山陰体育学研究, **31**: 21-25(2016)
- 18) Abe T., Tayashiki K., Nakatani M., Watanabe H., Relationships of ultrasound measures of intrinsic foot muscle cross-sectional area and muscle volume with maximum toe flexor muscle strength and physical performance in young adults, *J. Phys. Ther. Sci.*, **28**: 14-19 (2016)
- 19) 半田幸子, 堀内邦雄, 青木和夫, 足趾把握筋力の測定と立位姿勢調整に及ぼす影響の研究, 人間工学, **40**: 139-147(2004)
- 20) 相馬正之, 村田伸, 高口惟, 本木里奈, 最大一歩幅に影響を与える因子の検討, ヘルスプロモーション理学療法研究, **6**(2): 73-77(2016)