足趾把持機能を高めるインソール（靴の中敷き）の開発 Development of Insoles (Shoe Inserts) to Improve the Toe Grip Function

村田 伸¹⁾, 安彦 鉄平¹⁾, 中野 英樹¹⁾, 阪本 昌志¹⁾
松尾 大¹⁾, 川口 道生²⁾

Shin Murata¹⁾, Teppei Abiko¹⁾, Hideki Nakano¹⁾, Masashi Sakamoto¹⁾
Dai Matsuo¹⁾, Michio Kawaguchi²⁾

要旨：本研究は、開発した足趾把持機能を高めるインソールを紹介するとともに、その効果について健康成人女性50名（20.1±1.1歳）を対象に検討した。方法は裸足、一般のインソール靴（一般靴）と足趾把持機能を高めるインソール靴（開発靴）を履いた3条件における重心動揺の総軌跡長と外周面積を比較した。多重比較検定の結果、総軌跡長は裸足に比べて一般靴と開発靴を履いた状態での値が有意（ $p<0.01$ ）に小さく、外周面積は開発靴を履いた状態での値が裸足よりも有意（ $p<0.01$ ）に小さかった。これらの結果から、足趾把持機能を高めるインソールの立位バランスに及ぼす一定の効果が示された。本研究によって、今後介入研究や高齢者を対象にした研究を行う意義が示された。

キーワード：インソール, 足趾把持機能, 重心動揺

Abstract: This study examined the effects of original insoles to improve the toe grip function, involving 50 healthy adult females (20.1±1.1), with the aim of introducing them. Fluctuations in the center of gravity were measured under 3 conditions to compare the total trace length and outer peripheral area: barefoot, using general insoles (general), and using those to improve the toe grip function (study). In multiple comparisons, the total trace length was significantly shorter under the general and study compared with barefoot condition ($p<0.01$). The outer peripheral area was markedly smaller under the study compared with barefoot condition ($p<0.01$). It was demonstrated that the insoles to improve the toe grip function positively influence the standing balance. The significance of conducting studies based on intervention or involving the elderly was also indicated.

Key words: insoles, toe grip function, center of gravity

受付日：2016年6月8日，採択日：2016年7月2日

¹⁾ 京都橘大学健康科学部：〒607-8175 京都市山科区大宅山田34 TEL：075-571-1111
E-mail：muratas3944@gmail.com

Faculty of Health Science, Kyoto Tachibana University, 34 Ohyake yamada, Yamashina-ku, Kyoto-city, Kyoto 607-8175, Japan.

²⁾ アシックス商事株式会社企画開発部
Planning and Development Department, ASICS Trading Co., Ltd.

I. 緒 言

ヒトが安定した立位姿勢を保持するためには足趾把持機能、とくに足趾把持力が重要である^{1,2)}。足趾把持力とは地面を足趾・足底で掴む力であり、短母趾屈筋、長母趾屈筋、虫様筋、短趾屈筋、長趾屈筋などの作用により起こる複合運動である³⁾。この足趾把持力は高齢者の立位バランス⁴⁾や転倒⁵⁾との関連性からその重要性が報告されてきた。さらに、足趾把持力はトレーニングによって強化が可能であり^{6,7)}、強化することで転倒者が減少⁸⁾することから、足趾把持力への介入が転倒予防に有効であることが示されている。

また近年では、足趾把持機能を高める重要性が介護予防とくにロコモティブシンドロームの予防の観点から注目⁹⁾され、そのトレーニング効果は一定の成果¹⁰⁾を上げている。ただし、効果的なトレーニング法であっても継続して実施することは難しく、効果の持続性の問題が指摘¹¹⁾されている。本研究で紹介するインソールを装着した靴を履くことで立位バランスが向上すれば、効果の持続性の問題が解決され、高齢者の介護予防に貢献できる可能性が高い。

本研究の目的は、つま先部分を反発性の高い合成繊維で立体メッシュ構造とし、第一趾から第五趾の基節

骨中央付近に凸形状の盛り上がり（足趾把持バー）を付けた特殊構造のインソールを紹介するとともに、その効果を重心動揺計で測定した総軌跡長と外周面積から検証した。なお、本研究は健常成人を対象とした研究であり、健常高齢者や虚弱高齢者を対象とした研究を行う前の基礎的研究と位置づけられる。

II. 対象と方法

1. 対 象

対象は、K大学理学療法学科に所属する健常女性50名で、対象者の平均年齢は 20.1 ± 1.1 歳、平均体重は 54.1 ± 6.2 kg、平均身長は 160.0 ± 5.3 cmであった。各対象者には研究の趣旨と内容について説明を行い、理解を得た上で協力を求めた。また、研究への参加は自由意志であることを口頭と書面で説明し参加の同意を得た。なお、本研究は京都橋大学研究倫理委員会の承認を得て行った（承認番号16-1）。

2. インソールの構造と機能

開発したインソールは、本体部分を合成樹脂発泡体（エチレン・ビニール・アセテート）、および足先部（趾骨部）に反発性の高い合成繊維（立体メッシュ）

図1 インソールの構造と機能

- ①立体メッシュ構造：つま先部（趾骨部）は、反発性の高い合成繊維で立体メッシュ構造とした。
- ②足趾把持バー：第一趾から第五趾の基節骨中央付近に凸形状の盛り上がりを取り付けた。
- ③内側縦アーチ：歩行中のミッドスタンス時の内側縦アーチを保持するために内側面を立体形状にした。
- ④踵部の立体形状：歩行中のヒールコンタクト時の安定性を向上させる。

を用いて作成した。構造上の特徴は、上述した足先部の立体メッシュ構造と第一趾から第五趾の基節骨中央付近に設けた凸形状の盛り上がり構造（足趾把持バー）である。その他、歩行中のヒールコンタクト時の安定性を向上させるために踵部を立体形状にし、ミッドスタンス時の内側縦アーチを保持するために内側面も立体形状にした（図1）。

このインソールを靴に装着して歩行すると、ターミナルスタンスにおいて足先部の合成繊維（立体メッシュ）が足趾にかかる荷重で沈み込み、基節骨の中央付近に設けた足趾把持バーを足趾が認知し、足趾の反射的な把持運動（掴む）を促進させる構造とした。なお、立位姿勢においても、前足部に荷重がかかることにより足趾の把持運動が促進され、立位バランスが安定すると考えられる。

3. 重心動揺の測定方法

測定には重心動揺計グラビコーダ GP-7（アニマ社製）を用いて、開眼での足圧重心動揺を計測した。対象者には、重心動揺計上で両脚立位姿勢をとらせた。両足の内側縁間を1 cm に揃えて足先が前方を向くようにし、膝関節を伸展、両上肢を体側に付けた姿勢とした。視線は、対象者の目線の高さに合わせた2 m 先のマーカーを注視させた¹²⁾。データは、初期動揺の影響が出ないように立位姿勢を5秒間保持した後¹²⁾、30秒間の総軌跡長と外周面積について、サンプリング周期を20Hzとして記録した。

測定は裸足、一般のインソール靴（一般靴）と足趾把持機能を高めるインソール靴（開発靴）を履いた3条件における重心動揺を計測した。なお、一般靴に装着しているインソールは、足先部と足趾把持バー構造が開発靴と異なるのみで、その他の素材や踵部の立体形状、および内側縦アーチを保持するための内側面の立体形状は同様の物を用いた。また、靴の外見や素材も同一の物とし、アシックス商事製の市販されている靴を使用した。靴を履いた状態での重心動揺を測定するにあたり、足長を計測した後、適合する靴を選択したが、靴のサイズは平均 23.8 ± 0.6 cm、最小22.5 cm、最大24.5 cm であり、0.5 cm 刻みで5サイズの靴を計10足使用した。また、それら5サイズの靴に適合するインソールも5サイズ用意した。なお、3条件の測定順序はランダムに実施した。

4. 統計学的解析法

裸足および一般靴と開発靴を履いた3条件における総軌跡長と外周面積の比較について、反復測定分散分析を用いて検討し、その後、Bonferroniの多重比較検定を行った。解析にはSPSS Statistics Version22.0を用い、有意水準を5%とした。

III. 結果

1. 総軌跡長の比較

3条件における総軌跡長の平均値と標準誤差は、裸足 38.89 ± 1.11 cm、一般靴 34.16 ± 1.13 cm、開発靴 34.34 ± 1.26 cmであった。分散分析の結果、群間に有意差 $\{F(2, 48) = 7.43, p < 0.01\}$ が認められ、多重比較検定により、一般靴と開発靴を履いた状態での総軌跡長は、裸足よりも有意 $(p < 0.01)$ に短かった。一般靴と開発靴の総軌跡長には有意差は認められなかった（図2）。

図2 総軌跡長の比較

反復測定分散分析, Bonferroni 多重比較検定
平均±標準誤差 ** $p < 0.01$

2. 外周面積の比較

3条件における外周面積の平均値と標準誤差は、裸足 1.96 ± 0.14 cm²、一般靴 1.87 ± 0.13 cm²、開発靴 1.68 ± 0.12 cm²であった。分散分析の結果、群間に有意差 $\{F(2, 48) = 4.96, p < 0.05\}$ が認められ、多重比較検定により、開発靴を履いた状態での外周面積は、裸足よりも有意 $(p < 0.01)$ に小さかった。その他、開発靴と一般靴および一般靴と裸足の外周面積との間には有意差が認められなかった（図3）。

IV. 考察

ヒトは、二足で立ち歩行を行うことにより、多くの生物学的利点を得てきた。ただし、その一方で直立姿勢は四足位に比べて重心位置が高く、支持基底面が狭

図3 外周面積の比較

反復測定分散分析, Bonferroni 多重比較検定
平均 ± 標準誤差 ** $p < 0.01$

いなどの物理的に不安定な条件を持っているため、立位姿勢においては微妙な身体動揺が生じている。この身体動揺を捉える一般的な指標として、重心動揺計を用いた検査が行われている。

本研究での重心動揺の評価は、静的立位保持30秒間における総軌跡長と外周面積により行った。総軌跡長は床反力作用点の総移動距離を表し、外周面積は床反力作用点の移動した外周の線で囲まれる面積を表す。どちらも重心動揺の程度を表す代表的な値として、多くの先行研究で採用されている。本研究によって抽出された対象者の裸足での総軌跡長は平均38.89cm、外周面積の平均は1.96cm²であった。今岡ら¹³⁾は、15施設に及ぶ多施設共同研究により、重心動揺の健常者データを明らかにしている。それによると、20歳から24歳までの女性169名の60秒間における総軌跡長の平均値は67.58cmであり、外周面積の平均値は2.88cm²と報告している。30秒間における総軌跡長の測定値は60秒検査のほぼ50%に相当し、外周面積の測定値は60秒検査の70%程度に相当する¹³⁾ことから、今岡らの測定値を30秒間の値に換算すると、総軌跡長は33.79cm、外周面積は2.02cm²となり、本研究結果と近似した値であった。

本研究では、裸足および一般靴と開発靴を履いた3条件における総軌跡長と外周面積に有意な群間差が認められた。総軌跡長では、裸足に比べて一般靴と開発靴を履いた状態での値が有意に小さく、安定した立位姿勢を保持できたことが示唆された。元重ら¹⁴⁾は、健常成人女性を対象に履物の種類と重心動揺との関係について検討している。彼女らの結果では、裸足と運動靴の総軌跡長と外周面積には有意差が認められておらず、本研究結果とは異なった。本研究で使用した一般靴と開発靴には、踵部の安定性を高めるインソールの

工夫と内側縦アーチを保持するための工夫が施されており、これらの機能が身体動揺の小さな揺れを表す総軌跡長を有意に短縮させたものと推察した。

さらに、開発靴を履いた状態での外周面積は、裸足での外周面積に比べて有意に小さかった。健常成人における静止立位での重心動揺は非常に小さいため、重心が一定方向以外に少しでも移動すると、総軌跡長に比べて外周面積の変動が大きくなる¹⁵⁾。今回、足趾把持機能を高めるインソールを装着した靴を履くことで、足趾の把持運動が促進され、不意なふらつきにも瞬時に姿勢制御機構が作用したと考えられる。ただし、本研究ではその姿勢制御メカニズムの解明までは至っていない。今後、より詳細な分析が必要であろう。

これらの知見から、足趾把持機能を高めるインソールの一定の効果が示された。ただし、このインソールは、歩行することで足趾の把持運動が無意識に生じ、足趾把持機能が高まることで高齢者の転倒予防や介護予防に貢献することを目的に開発したものである。この仮説を検証するためには介入研究を実施する必要がある。また今回の結果が健常高齢者や虚弱高齢者にも同様に生じるか否かについて明らかにする必要がある。本研究によって、介入研究や高齢者を対象にした研究を行う意義が示された。

引用文献

- 1) 井原秀俊：関節トレーニングー神経運動器強調訓練改訂第2版。共同医書、東京、1996、91-92.
- 2) 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ー健常女性を対象とした検討ー。理学療法科学、2004、19(3)：245-249.
- 3) 村田 伸、忽那龍雄：足把持力測定を試みー測定器の作成と測定値の再現性の検討ー。理学療法科学、2002、17(4)：243-247.
- 4) 新井智之、藤田博暁、細井俊希・他：地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、2011、38(7)：489-496.
- 5) 村田 伸、津田 彰：在宅障害高齢者の身体機能・認知機能と転倒発生要因に関する前向き研究。理学療法科学、2006、33(3)：97-104.
- 6) 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、2008、35(5)：261-266.
- 7) 竹井和人、村田 伸、甲斐義浩・他：足把持力トレーニングの効果。理学療法科学、2008、26(1)：79-81.
- 8) 村田 伸、忽那龍雄：在宅障害高齢者に対する転倒予防対策ー足指把持力トレーニング。日本在宅ケア学会誌、2004、7(2)：67-74.
- 9) 湯村良太、石橋英明、藤田博暁：地域在住中高年者における転倒歴とロコモ度テストおよび運動機能測定値との関連。

理学療法－臨床・研究・教育, 2016, 23(1): 40-46.

- 10) 石橋英明, 藤田博暁, 細井俊希・他: ロコモティブシンドロームの実証データの蓄積 高齢者におけるロコモーションチェックの運動機能予見性およびロコモーショントレーニングの運動機能増強効果の検証. 運動器リハビリテーション, 2013, 24(1): 77-81.
- 11) Dishman RK, Sallis JF, Orenstein DR: The determinants and interventions for physical activity and exercise. Public Health Rep, 1985, 100(2): 158-171.
- 12) 鈴木淳一, 松永 喬, 徳増厚二・他: 重心動揺検査の Q&A, 手引き (1995). Equilibrium Research55, 1996: 64-77.
- 13) 今岡 薫, 村瀬 仁, 福原美穂: 重心動揺検査における健康者データの集計. Equilibrium Research56, 1997: 1-84.
- 14) 元重悠子, 倉田信子: 履物の種類による静的・動的重心動揺の相違に関する基礎的研究. 日本看護医療学会雑誌, 2011, 13: 42-49.
- 15) 猪飼哲夫, 辰濃 尚, 宮野佐年: 歩行能力とバランス機能の関係. リハビリテーション医学, 2006, 43: 828-833.