

## 足趾トレーニングシューズ試作のための基礎研究

長谷川 正哉<sup>1)</sup> 大塚 彰<sup>1)</sup> 金井 秀作<sup>1)</sup> 沖 貞明<sup>1)</sup>

キーワード 足趾, トレーニングシューズ, 3次元動作解析

## 抄録

靴が原因と考えられる足趾および足部の障害が多発しており、予防法として足趾の運動が重要であることが報告されている。本研究では足趾 MP 関節運動および内側縦アーチの運動、足部内在筋の筋活動を促進させるためのトレーニングシューズの開発を目的に実験を行った。実験 1 では、裸足、足趾トレーニングシューズ、足甲固定サンダルの条件下に、10 m 歩行中の MP 関節および内側縦アーチの角度変化を計測した。その結果、今回試作した足趾トレーニングシューズ着用下における MP 関節運動および内側縦アーチ角度の変化が足甲固定サンダルより増大し、裸足に近似した関節運動が発生することが確認された。実験 2 では、同様の条件下にて、母趾外転筋における筋電活動を計測した。その結果、裸足歩行時および足甲固定サンダルと比較し、足趾トレーニングシューズにおける筋電活動が増加した。実験結果より、今回試作した足趾トレーニングシューズの特徴として、十分な足趾関節運動が発生し、足部内在筋の筋電活動を増大させることが確認された。

## 1. はじめに

足趾および足アーチは人間が 2 足歩行をするために重要な役割を果たす。しかし、近年、歩きやすさやデザインを重視した靴着用による足機能の代償や機械的圧迫が原因と考えられる外反母趾や扁平足等の足部の障害が増加している<sup>1,2)</sup>。

Kusumoto ら<sup>3)</sup> は、裸足や下駄で歩行する機会が多い群では、靴を習慣的に着用する群に比べ、疼痛や歩行障害につながる外反母趾が少ないことを報告している。また、船越ら<sup>4)</sup> は、靴着用時間の長い欧米では足部の障害発生頻度が高いことを報告している。

これらの足部障害の予防方法として、足趾にお

ける運動機能の改善（身体要因の改善）<sup>5,6)</sup> および履物の改善（環境要因の改善）<sup>7,8)</sup> が重要である。

そこで、本研究では、これらの身体要因および環境要因に配慮した足趾トレーニングシューズを試作し、その機能について検討することを目的とした。

## 2. 足趾トレーニングシューズの検討および試作

実験に先立ち、足趾トレーニングシューズの試作品と、試作品をモデルとした実験用の履物を作製した。足趾トレーニングシューズの作製に関しては、整形靴により足趾関節および足アーチ運動の制限が起こるとの橋本らの報告<sup>9)</sup> から、足趾関

2006 年 8 月 11 日受付

Production of toe training shoes that pay attention to shape of instep : Analysis of toe movement and muscle activity in different foot wear types

1) 県立広島大学保健福祉学部理学療法学科 〒723-0053 三原市学園町 1-1

Faculty of Health and Welfare, Prefectural University of Hiroshima

1-1 Gakuen-machi, Mihara-shi, Hiroshima, 723-0053 Japan

Masaki HASEGAWA (理学療法士), Akira OTSUKA (理学療法士), Shusaku KANAI (理学療法士),

Sadaaki OKI (医師)

節および足アーチ運動が活発に起こる形状を検討することとした(図1)。

先行研究<sup>10)</sup>から、足趾部の動きには足甲の固定方法が重要であると考え、足甲部には伸縮性のあるウェットスーツ素材を用い固定位置をMP関節部とした。また、足趾部の固定を強くするためMP関節以遠を伸縮性のない生地で覆った。さらに、ソール部には、下駄歩行中における足趾屈筋群の活動が活発になるという高橋らの報告<sup>11)</sup>に基づきインフレキシブルなものを採用し、足趾トレーニングシューズを作製した。赤外線反射マーカーや筋電用電極の貼付が必要なため、実験に先立ち同様の構造を持つ実験用サンダル(足趾トレーニングシューズのモデル: 図2b)と靴モデルとして足甲固定サンダル(図2c)を作製した。

### 3. 対象と方法

#### 3-1 実験1

下肢に愁訴のない健康成人17名(男性9名, 女性8名)を被験者とした。対象者は年齢 $23.3 \pm 4.6$ 歳, 身長 $168.3 \pm 8.9$ cm, 体重 $59.2 \pm 10.9$ kg(平均 $\pm$ SD)であった。なお, 実験内容の趣旨を説明し, 同意を得た上で実験を行った。

足甲固定による影響を検討するため, 裸足, 足趾トレーニングシューズ, 足甲固定サンダルを実験に用い(図2), 各条件における10m歩行時の第1趾MP関節および内側縦アーチの変化を計測した。計測には3次元動作解析装置であるOxford Metrics社製VICON512を用い, 足趾尖・第1MTP関節・舟状骨上・踵突点マーカー位置を赤外線カメラにて撮影した。計測終了後, 矢状面上のMP角(足趾尖, 第1MTP関節, 踵突点)およ

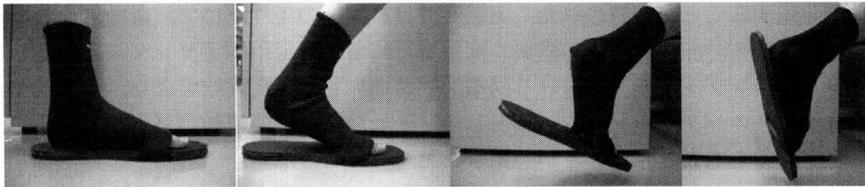


図1 足趾トレーニングシューズの試作品

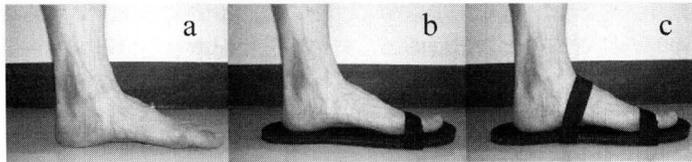


図2 実験条件と実験用靴モデル

a: 裸足, b: 足趾トレーニングシューズ, c: 足甲固定サンダル(通常の靴モデル)

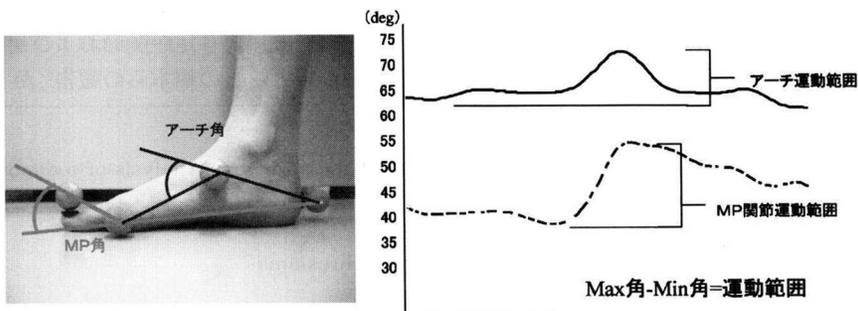


図3 ランドマークと角度抽出方法

び Arch 角 (第 1MTP 関節, 舟状骨上, 踵突点) における 1 歩行周期中の最大角 (Max 角)・最小角 (Min 角) を抽出後, その差 (Max 角 - Min 角) を算出し, 運動範囲とした (図 3).

統計検定には一元配置の分散分析および Scheffe テストによる多重比較を行った. なお, 統計学的有意水準を 5% とした.

### 3-2 実験 2

下肢に愁訴のない健常成人 8 名 (男性 3 名, 女性 5 名) を被験者とした. 対象者は年齢  $26.4 \pm 5.3$  歳, 身長  $163.3 \pm 9.2$  cm, 体重  $53.1 \pm 12.2$  kg (平均  $\pm$  SD) であった. なお, 実験内容の趣旨を説明し同意を得た上で実験を行った.

裸足, 足趾トレーニングシューズ, 足甲固定サンダルの条件下にて, 足部内在筋の筋活動量として EMG の評価を行った. 計測には Noraxon 社製マイオシステムを用い, 母趾外転筋における筋電活動を計測した. 定性歩行の 3 歩行周期の波形をサンプリング周波数 1 kHz でパーソナルコンピュータに取り込み, 対象者のデータを歩行周期で正規化した. 歩行周期の決定には踵部に装着したフットスイッチ (Noraxon 社製ノルススイッチ) を用いた.

EMG 波形から平均 RMS 値を抽出し, 各群における比較を行った. 比較検定には一元配置の分散分析および Scheffe テストによる多重比較を行った. なお, 統計学的有意水準を 5% とした.

## 4. 結果

すべての結果を表 1 に示す.

### 4-1 実験 1

MP 関節角度は裸足  $40.9 \pm 12.1^\circ$ , 足趾トレーニングシューズ  $36.2 \pm 12.2^\circ$ , 足甲固定サンダル  $25.8 \pm 8.6^\circ$  となった.

裸足に比べ足甲固定サンダル ( $p < 0.01$ ) で MP 関節可動範囲に減少が認められた. また足趾トレーニングシューズに比べ足甲固定サンダルにおいて有意な減少が認められた ( $p < 0.05$ ).

Arch 角度は裸足  $15.0 \pm 7.1^\circ$ , 足趾トレーニングシューズ  $17.1 \pm 6.6^\circ$ , 足甲固定サンダル  $9.1 \pm 4.9^\circ$  となり, 裸足に比べ, 足甲固定サンダルで有意な減少が認められた ( $p < 0.01$ ). また足趾トレーニングシューズに比べ, 足甲固定サンダル ( $p < 0.01$ ) における有意な減少が認められた.

### 4-2 実験 2

母趾外転筋の平均 RMS 値は裸足  $65.3 \pm 38.7 \mu\text{V}$ , 足趾トレーニングシューズ  $136.4 \pm 49.8 \mu\text{V}$ , 足甲固定サンダル  $82.0 \pm 34.2 \mu\text{V}$  となった. 足趾トレーニングシューズに比べ足甲固定サンダル ( $p < 0.05$ ), 裸足 ( $p < 0.01$ ) に有意な増加が認められた.

## 5. 考察

### 5-1 実験 1

MP 関節および足内側縦アーチの運動範囲が, 足甲固定サンダルにて減少することが確認された. 裸足-足趾トレーニングシューズ間に有意差は認められず, 足趾トレーニングシューズ着用時には裸足に近い状態で歩行が可能であると考えられた.

下駄や草履に代表される足部開放性の履物と同

表 1 実験 1・実験 2 の結果

	裸足	足趾 トレーニング シューズ	足甲固定 サンダル
足趾 MP 関節角度 ( $^\circ$ )	$40.9 \pm 12.1$	$36.2 \pm 12.2$	$25.8 \pm 8.6$
		**	
	**		
足内側縦アーチ角度 ( $^\circ$ )	$15.0 \pm 7.1$	$17.1 \pm 6.6$	$9.1 \pm 4.9$
		**	
	**		
母趾外転筋平均 RMS 値 ( $\mu\text{V}$ )	$65.3 \pm 38.7$	$136.4 \pm 49.8$	$82.0 \pm 34.2$
		**	**

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ .

様に足趾トレーニングシューズでは、踵離地から爪先離地にかけて、足底踵部とソール後方が離れることで足趾の背屈が起りやすいと考えられる。また、遊脚中に履物が脱落しないように、足趾を屈曲させ履物を固定する必要がある。

足甲固定サンダルではMP関節近位の固定が行われるため、足趾の運動およびアーチの運動範囲が制限されると考えられる。今回試作した足趾トレーニングシューズでは、MP関節遠位での固定を行っているため、足趾の背屈運動が容易に起り、これに連動したウィンドラスメカニズム<sup>12)</sup>による足内側縦アーチの運動範囲の増加につながることを確認された。

## 5-2 実験 2

裸足および足甲固定サンダルと比較し、足趾トレーニングシューズ着用時に母趾外転筋の筋電活動が増加した。遊脚中、足趾屈曲によるソール部の固定が母趾外転筋の筋電活動を誘発した結果と考えられた。高橋<sup>11)</sup>、三浦<sup>13)</sup>らも、下駄を用いた実験にて類似した報告を行っており、本研究においても同様の結果を得たと考える。裸足や足甲固定サンダルに比べ、足趾トレーニングシューズ着用歩行時に筋電活動が増大したため、より効果の高い筋力増強練習となる可能性が示唆された。金井ら<sup>14)</sup>は、下駄を用いた歩行が足部内在筋の筋活動を促進し、外反母趾等への運動療法に展開できる可能性を報告している。本研究においても同様の傾向が認められることから、足部障害に対する運動療法として有効であると考えられる。

また、裸足と足甲固定サンダルにおいて有意差が認められなかった原因として、足甲固定サンダルが通常の靴の構造であるカウンターやシャンクを有しておらず、通常の靴より裸足に近い状態であったためと考えられた。通常の靴を使用した条件では異なる結果となることが予測され、実験手法の更なる工夫が必要であると考えられる。

## 6. まとめ

足趾トレーニングシューズの試作を行った結果、足甲固定位置が、足趾の運動範囲および内側縦アーチ、筋電活動に影響を及ぼすことが確認された。本研究で試作された足趾トレーニングシューズの使用により、十分な足趾の運動が可能とな

り、足趾トレーニング用のシューズとして有効である可能性が示唆された。本研究では実際のトレーニング効果について検討していないため、今後足趾トレーニングシューズ着用歩行の影響について検討していく必要があると考える。

## 文 献

- 1) 三浦幸雄：扁平足と痛み，整形外科 MOOK, 30 : 60-69, 1983
- 2) 倉 秀治ほか：ハイヒール靴と足の障害, MB Orthop., 7 (12) : 13-18, 1994
- 3) Kusumoto, A., et al. : A comparative study of foot morphology between Phillipino and Japanese women, with reference to the significance of a deformity like hallux valgus as a normal variation, Anal. Hum. Biol., 23 (5) : 373-385, 1996
- 4) 船越公威：日本人の足骨構造における小進化的変化, 永井昌文教授退官記念論文集, 175-185, 1988
- 5) 井原秀俊：足趾訓練の持続効果, 整形外科と災害外科, 46 (2) : 393-397, 1997
- 6) 山本隆博ほか：足底の2～多関節筋に対するストレッチによる筋の生理学的活性化作用について, 靴の医学, 19 (2) : 85-89, 2006
- 7) 島津 晃ほか：足アーチの障害, 総合リハ, 10 (9) : 807-813, 1982
- 8) 井口 傑：正しい靴の選び方, 靴の医学, 18 (2) : 118-121, 2004
- 9) 橋本健史：歩行時における靴の機能についての運動学的検討—Windlass mechanism に対する効果について—, 靴の医学, 18 (2) : 76-80, 2004
- 10) Hasegawa, M., et al. : The function of the Japanese Geta clogs, Gerontechnology, 2005 (proceedings)
- 11) 高橋 公：履物による筋活動と足の障害, 整形外科 MOOK, 30 : 45-59, 1983
- 12) Kappel-Bargas, A., et al. : The windlass mechanism during normal walking and passive first metatarsalphalangeal joint extension, Clin. Biomech. (Bristol, Avon), 13 (3) : 190-194, 1998
- 13) 三浦豊彦：足と履物, 4版, 42-53, 労働科学研究所出版部, 1970
- 14) 金井秀作ほか：下駄を用いた足部内在筋強化の可能性, 靴の医学, 17 (2) : 5-8, 2003