立位時の足底面に対するせん断応力の感覚閾値と 圧分布パターンの測定

A Measurement of Plantar Sensory Thresholds for Shear Stress Stimuli and Foot Pressure Patterns in the Standing Position

非 ○大西 忠輔（昭和伊南総合病院） 正 佐藤 満 （昭和）
非 中村 幸男（昭和伊南総合病院） 非 本田 哲三（昭和伊南総合病院）
非 高橋 紀代（大阪医科大） 非 吉村 眞一（飛鳥電機製作所）
正 井野 秀一（産総研）

Tadasuke ONISHI, Showainan General Hospital, Akaho 3230, Komagane
Mitsuru SATO, Showa University
Yukio NAKAMURA, Showainan General Hospital
Tetsumi HONDA, Showainan General Hospital
Noriyo TAKAHASHI, Osaka Medical College
Shinichi YOSHIMURA, ASUKA ELECTRIC Co., Ltd.
Shuichi INO, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

Key words : 足底感覚, 足底感覚評価装置, 距骨下関節, 足底圧分布,

1. はじめに

2010年の国民生活基礎調査によると、要支援・要介護と認定された人のうち「転倒・骨折」が原因である者は全体の約10%を占めることから、高齢者の転倒予防を図ることは重要な課題と言える¹⁾。転倒においては、人間が地面と接するのは身体の中で唯一足底面であることから、立位調節における体性感覚、特に足底からの感覚情報は重要であり、先行研究においても立位バランス能力と足底感覚の関連があることが報告がされている²⁾。浅井らは、足底部に対し冷却刺激を加え、足底からの感覚情報を減少させる研究により重心の動揺が増大すると報告しており³⁾、立位姿勢調節における足底感覚情報の機能的役割を検討することは重要である。一方、足底圧と足底感覚に関しては、建内らは、Semmes-Weinstein Monofilaments（以下、SW知覚テスター）を用いた足底感覚評価と足圧分布との研究では関連性があったこと、踵部など感覚閾値の高い部位では圧が高く、足趾など閾値が低い部位では圧が低いもしくは接地していない傾向がみられると報告している⁴⁾。

足底感覚の評価法としては、従来、二点識別覚や、SW知覚テスターを用いておこなわれてきた。これらは足底面に対して垂直方向に圧刺激を加えることで、知覚する刺激の最小値を測定するものである。しかし、測定が免荷肢位であることから、実際の生活動作における立位や歩行などの荷重条件下とは異なる条件下での評価法となる。

そこで、本研究では、立位や歩行時の姿勢制御の際は、地面と足底の間にズレが生じるため、せん断応力の知覚は欠かすことができないと考え、新たな足底感覚の評価法を、独自開発の計測システムを用いて荷重条件（立位）で行い、また静的な点弁別閾による足底の触圧覚の閾値ではなく、動的な水平方向への皮膚のずれを皮感覚評価に用いることとした。

本研究の目的は、足底感覚評価装置を用いてより実際の立位や歩行に近い足底感覚と足底接地状態（距骨下関節のアライメント）および足圧分布の関連性を調べることであり、ヒトの立位バランス能力の足底感覚を含めた機序解明および高齢者などの転倒防止策構築である。

2. 実験方法

2.1 対象者

本実験における被験者は、神経学的既往症は無い58人（男性49名 女性9名）であり、年齢は18～55歳である。実験の開始および参加にあたり、事前に実験の趣旨を口頭にて説明し、対象者の同意を得た上で実験をおこなった。本実験は大阪医科大学倫理委員会で承認されている。

2.2 計測方法

開発した足底感覚評価装置を用い、母趾球面の感覚閾値の測定を行った。足圧測定には、足圧分布測定装置（MIDI CAPIEURS 社 PEL38）を用いて左右の平均足圧分布を測定した（Fig. 1）。足底感覚評価装置（sole stimulator）は足裏に配置した接触子を任意の距離及び速さで水平面内を動かすことで感覚閾値を測定する。SW知覚テスターや二点式別による感覚閾値測定法と比べて、簡便な操作で測定可能なため短時間で閾値が得られ、医学的な専門知識に乏しい測定者でも再現性が高い測定が可能な点が特徴である。足裏感覚測定は、利き足の母趾が接触子に触れる立位姿勢によって行った。測

Fig.1 Experimental setup.

Fig. 2 (a): Plantar foot pressure (b): Deviation of the subtalar joint.

定中は閉眼状態とし、自然な立位を維持するように指示した。上記の状態では接触子を体の足趾に対し左右方向に動かし、刺激を感じたらスイッチを押すように指示をし、足裏感覚の閾値計測（絶対閾）を行った。

全被験者の静止立位の足圧分布の状態（Fig. 2a）、および立位の足部の形態的特徴の観察（Fig. 2b）から、1）距骨下関節内反群と外反群、2）片側足圧分布の内側（母趾側）変位群と外側（小趾側）変位群、3）両足足圧分布の前方変位群と後方変位群、4）足趾圧力の完全存在群と消失群に分類した。距骨下関節の形態は、立位において下腿1/3遠位の中心線と踵中央線がなす角度が内反位のもの（内反群）と外反位のもの（外反群）を、理学療法士がゴニオメータで計測を行い2群に分類した。

2.3 統計処理

4種類の分類によった得られた各群で計測された足底感覚閾値はShapiro-Wilkの検定で正規性を確認した後、2標本t検定によって平均の差を検定した。有意水準は両側検定で危険率5%未満とした。統計処理にはJMP10（SAS Institute社）を用いた。

3. 結果

4種類の分類を行った結果得られた各群の標本数と年齢、足底感覚閾値、検定結果をTable 1に示す。距骨下関節の内反群は外反群と比べて、平均年齢がほとんど変わらないにもかかわらず、動的な刺激に対する足底感覚閾値は有意に高い値（ $p < 0.01$ ）を示した。また片側足圧分布で足部内側（母趾球）に多くの圧がかかる内側変位群は足部外側（外側縦アーチ部から小趾球）に多くの圧がかかる外側変位群と比べて、動的な刺激に対する足底感覚閾値は有意に高い値（ $p < 0.05$ ）を示した。

一方、静止立位での足圧が前方に偏る（前方重心）群と後方に偏る（後方重心）群の動的な刺激による足底感覚閾値には差が認められなかった。同様に、静止立位で足趾の圧力がほぼ完全に存在する（足趾接床）群とほぼ全足趾の圧力が消失している（浮き趾）群の足底感覚閾値の間にも差は認められなかった。

4. 考察

下肢骨アライメントの観点から見た場合、距骨下関節が外反しているアライメントでは、内側縦アーチの低下により母趾球への重心移動量が大きく、通常に比べて母趾球圧が高まると言われている。それに対して距骨下関節内反は小趾球への重心移動量が大きく⁵⁾、支持基底面より外側に重心が移動した場合、内反捻挫に代表されるような形で転倒に繋がる。そこ

Table 1. Comparison of the sensory threshold at plantar foot between the groups classified with plantar foot pressures and foot shapes.

Groups (n)	Age	Threshold [μ m]	P value
1. Deviation of the subtalar joint			
Inversion (5)	25.0 $\pm$ 4.2	56.0 $\pm$ 10.1	<0.01
Eversion (6)	25.2 $\pm$ 4.0	25.0 $\pm$ 9.9	
2. Peak pressure position of the plantar foot			
Medial (14)	31.4 $\pm$ 6.0	33.1 $\pm$ 15.0	<0.05
Lateral (5)	22.6 $\pm$ 7.1	17.5 $\pm$ 6.6	
3. Peak pressure position of the plantar foot			
Forefoot (7)	22.7 $\pm$ 4.5	27.9 $\pm$ 21.9	n.s.
Rearfoot (11)	22.7 $\pm$ 4.5	28.6 $\pm$ 6.6	
4. Existence of the toe pressure			
Exist (12)	26.7 $\pm$ 10.2	29.7 $\pm$ 19.2	n.s.
None (9)	28.4 $\pm$ 7.6	29.7 $\pm$ 9.5	

で本研究においては、距骨下関節の内反群と外反群に分けて、これまでに報告がない両群の足底面の感覚機能に差があるかどうかを調べた。その結果、距骨下関節外反群は内反群よりも、母趾球部の足底面の感覚閾値が有意に低いことが明らかになった。距骨下関節が外反位にあると、歩行時の足底面に投影した重心移動の軌跡は母趾球を含めた足底面の内側部へより多く偏位する。距骨下関節の外反位で母趾球の感覚が鋭くなるのは、多くの圧力が内側部に集中し、ここを通過する重心移動を制御するために、母趾球の動的な刺激に対する感覚閾値を低下させた結果であることが示唆される。さらに距骨下関節の内外反変形の有無に関わらず足圧分布の特徴だけで分類した結果においても足部外側（外側縦アーチ部から小趾球）にかかる群に比べ、足部内側（母趾球）に圧がかかる群の方が母趾球での動的な刺激に対する感覚閾値が低い結果となった。これは、生活において習慣的に多くの圧がかかる部分では、動的な刺激に対する感覚閾値が低くなる可能性をさらに支持する結果と言える。加齢の影響などで生じる慢性的な関節変形で姿勢アライメントに変化が生じ、足底面圧の状態が変位すること自体が、足底の感覚機能を向上または低下させるといった影響を及ぼす可能性があることを本研究の結果は示唆している。一方、足圧分布の前後への変位群間や足趾圧の有無による群間には閾値の差はなかった。これらの特徴は静止立位における特徴であり、歩行時の重心移動は足底面の前後に及ぶことになるため、母趾球の閾値には影響しなかった可能性がある。

これまでは体表面の表在感覚閾値の計測は、複雑な手順と測定に要す時間から、臨床では決して行いやすい検査とは言えなかった。本装置はひとつの部位の感覚閾値が1～2分で測定できるため、本装置をもちいることで、関節変形を伴った高齢者等の感覚機能の定量化、あるいは転倒予防の知見の蓄積のために役立つものと考えられる。

5. 参考文献

- 平成22年国民生活基礎調査の概況/厚生労働省、
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa10/4-2.html>
- 森岡周・他：年齢別にみた立位姿勢バランス能力と足底二点識別覚の変化過程。理学療法ジャーナル 39：919-926, 2005
- 浅井仁・他：極低温空気による足底冷却が安静時立位姿勢調節及び有効支持基底面の広さに及ぼす影響。理学療法学 18：19-25, 1991
- 建内宏重・他：高齢者における足底感覚と足圧分布および足底接地状態が立位バランス能力に与える影響。京都大学医学部保健学科紀要 健康科学 4：25-3
- Jacquelin Perry：武田功 監訳 ベリー歩行分析第1版：120-121。医歯薬出版株式会社, 2007