

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 26 日現在

機関番号：34448

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25750244

研究課題名(和文) 足底への振動刺激に対する姿勢応答の刺激部位による違い

研究課題名(英文) Postural responses to various sites of the forefoot sole during quiet standing

研究代表者

中 正美(Naka, Masami)

森ノ宮医療大学・保健医療学部・助教

研究者番号：90636383

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：健康成人を対象に、足底前足部に振動刺激(振幅0.5mm、周波数60Hz)を負荷し、姿勢応答を評価した。刺激部位(直径12mm)は、両足の(1)立位における中足骨骨頭部下の最大加圧部位、(2)その前方部位、(3)後方部位とした。これらの部位は、各被験者の立位時の中足骨骨頭部下の圧分布と足底接地範囲に基づいて決定した。最大加圧部位への振動刺激は、その前後の部位への刺激と比べて、高い割合で身体の後方傾斜(補償応答)を生じさせた。このことから、安静立位時の立位位置の知覚において、最大加圧部位が重要な役割を担うことが示唆された。

研究成果の概要(英文)：We applied vibration (0.5-mm amplitude, 60 Hz) to the forefoot soles and evaluated postural responses in healthy adults. Two vibrators (12-mm diameter) were bilaterally attached to the metatarsal head areas at (1) the point of maximum pressure during quiet standing, (2) the anterior area, and (3) the posterior area, which were determined based on the foot pressure distribution and the bearing area of each subject. The vibration to the point of maximum pressure induced backward-lean response (compensatory response) at a higher rate than the vibrations to the other sites. This would suggest that the maximum pressure area under the metatarsal head plays important role in positional perception in quiet standing.

研究分野：理学療法学

キーワード：立位姿勢制御 足底感覚

1. 研究開始当初の背景

立位姿勢制御は、視覚、筋感覚、足底圧感覚、前庭感覚を統合することによりなされる (Massion 1992)。それには、比較的上位の中枢 (Kavounoudias et al. 2008) に存在する参照枠 (body scheme、internal model) を介して、各身体分節の配置およびそれらの外部空間に対する関係を知覚することが重要である (Magnus 1924; Gurfinkel et al. 1988)。足底からの感覚入力、特に閉眼での立位姿勢制御において、立位位置に関する重要な情報を提供することが報告されている (Magnusson et al. 1990; Fujiwara et al. 2003; Mayer et al. 2004)。

立位位置の知覚における足底圧感覚の役割を検討した研究では、振動刺激が多く用いられている (Kavounoudias et al. 1998; Fujiwara et al. 2003)。振動刺激に対する神経インパルスの記録 (Ribot-Ciscar et al. 1989) から、足底への振動刺激は、足底の筋群よりも皮膚の機械受容器を興奮させることが知られている。閉眼立位にて、60 Hz 以上の振動刺激を、足底の中足骨骨頭部に加えると、身体が後方へ傾斜することが報告されている (Kavounoudias et al. 1998; Fujiwara et al. 2003; Naka et al. 2015)。これは、立位位置が前方へ変位したと被験者が錯覚し、それを戻すための補償応答であると解釈されている (Roll et al. 2002)。同様に、踵部への振動刺激は身体後傾の錯覚を引き起こし、身体前傾を生じさせることも報告されている。これらの研究によって、足底の中足骨骨頭部は立位位置の前方変位、踵部は後方変位の知覚に関与することが示唆されてきた (Kavounoudias et al. 1998; Fujiwara et al. 2003)。

足底の機械受容器には、持続的な感覚刺激の大きさに対応する受容器と、時間的に変化する感覚刺激に対応する受容器がある (Schmidt 1987)。機械受容器は、ほとんどが接地面に存在するが、種類によって分布する領域が異なることが報告されている (本部 1976; Kennedy and Inglis 2002; Fallon et al. 2005)。また、足底部への機械的的刺激に対する下肢筋の応答は、刺激部位によって異なることが報告されている (Anderson et al. 1999; Sonnenborg et al. 2000; Nakajima et al. 2006)。さらに、立位姿勢における中足骨骨頭部下の足底圧分布をみると、最大加圧部位は第 2、3 中足骨骨頭部にあり (中, 藤原 2009)、アーチの頂点を成す第 2 中足骨骨底は立位位置の変化に伴い上下する (Wright et al. 2012)。このことから、中足骨骨頭部内においても、常に大きな圧が加わっている最大加圧部位からの感覚入力は、立位位置の知覚に強く関与することが十分予想される。しかし、立位位置の知覚と感覚が入力される足底部位との関係については、踵部と中足骨骨頭部の違いを検討している研究が多く、中足骨骨頭部内での部位による違いを細かく

区分して検討した研究は少ない (Fujiwara et al. 2003)。

2. 研究の目的

中足骨骨頭部下の最大加圧部位からの感覚情報の立位位置知覚における役割を検討するために、最大加圧部位周辺への振動刺激に対する姿勢応答を比較することを目的とした。

3. 研究の方法

研究は、安静立位における中足骨の動きや中足骨骨頭部下の圧分布と足底接地面の变化を検討する実験 1 と、中足骨骨頭部下の最大加圧部位周辺への振動刺激に対する姿勢応答を検討する実験 2 から成った。

(1) 被験者

実験 1 には健常成人 13 名、実験 2 には 17 名が参加した。

(2) 装置とデータ記録

実験 1

立位時の足底接地面と足背を同時に観察できる足底接地面測定システムを (FUJIWARA 2011; 図 1) 用いた。このシステムはピドスコープ (平沢 1961) を参考とした。ピドスコープを構成するガラス面の下に 4 つのロードセル (日本特殊測器, LCD) を配置し、アナログ電子回路 (FPA34; Electro-design) を介して前後方向の足圧中心位置 (CoPap) を算出した。ガラス面の上下に設置した鏡を介して、13 m 離れた位置に配置したデジタルカメラ (EX-F1, Casio computer) で足底と足背を撮影した。

中足骨骨頭部下の最大加圧部位を同定するために、足底圧分布測定システム (RSscan International) を用いた。このシステムの空間分解能は前後方向が 5mm、左右方向が 7.5mm であった。

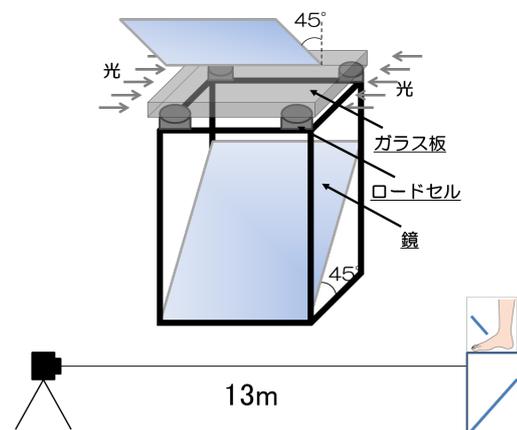


図 1. 足底接地面測定システム

実験 2

振動刺激は2つのバイブレーター (FS102, Electro-design: 図2) を用いて皮膚上から負荷した。そのバイブレーターには、圧電素子作動装置 (MTA05S400F9, Mechano Transformer Corporation) が搭載されていた。振動子の耐圧は8Nであった。振動周波数 (60Hz) と peak to peak 振幅 (0.5 mm) は、信号発生器 (NF, WF1966003) からの正弦波の電圧変化によって制御された。この装置の刺激部 (直径 12 mm) は、足の下のプレート (500×500 mm) の前方部分に組み込まれ、各被験者の足底の形状に合わせてプレート上を任意に移動させることができた。振動部の初期位置は床面の高さと同じとした。

振動刺激時の CoPap を測定するために、足底刺激用の振動刺激装置を取り付けたプレートの下に、3つのロードセルから成る床反力計 (WJ-1001, WAMI) を設置した。CoPap の信号は、安静立位位置の ± 1 cm の範囲 (Goshima, 1986) を被験者に提示するためのブザー発生器 (HIRUTA, F-H6408) と、試行中の CoPap 偏倚を同定するためのデジタルオシロスコープ (IWATSU, DS6612) に入力した。

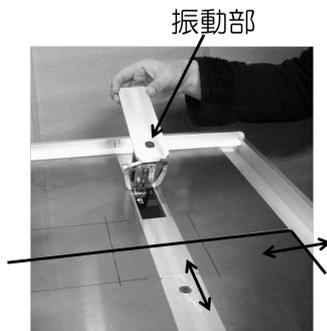


図2. 振動刺激装置

(3) 手順

全ての測定は、裸足にて両足の内側縁を平行に 10cm 離し、かつ腕を体側に垂らして実施した。

実験 1

測定に先立ち、閉眼での安静立位姿勢における CoPap の動揺を 10s 間測定し、その 5 試行の平均位置を安静立位位置 (QSP) とした。また、標準偏差の平均 (SD_{QSP}) を算出した。

まず、被験者が CoPap を QSP、および踵から足長の 60% 位置 (60%FL) に保持しているときの足底圧分布を測定した。それぞれの圧分布画像から、中足骨骨頭部下の最大加圧部位の中心を同定した。30~60%FL の立位位置は、安静立位の範囲であり、この範囲より前傾すると足指に圧が加わる (藤原ら 1984)。

次に、足圧中心を QSP と 60%FL に保持しているときの第 1~第 5 中足骨骨頭の前端部分中央を、それぞれ足背から触診にて同定し、足背にマーカーで印をつけた。その後、足圧中心を QSP と 60%FL に保持しているときの足

背と足底接地面を撮影した (図3)。

実験 2

刺激部位を決定するために、実験 1 と同様の方法で、QSP を保持しているときの足底圧分布と足底接地面を記録した。得られた圧分布画像から中足骨骨頭部下の最大加圧部位の位置を同定した。刺激部位は中足骨骨頭部下の最大加圧部位の中心とその前後 12mm の部位とした。足底接地面の画像を用いて、これらの刺激部位が接地していることを全被験者について確認した。

振動刺激を負荷する手順は以下の通りである。まず、被験者は開眼にてブザー音が手がかかりに、CoPap を $QSP \pm 1$ cm の範囲に保ち、10 秒間立位姿勢を保持した。続いて閉眼となり、その立位位置を少なくとも 5 秒間保持した。次にブザー音が消え、その 5-10 秒後に振動刺激が負荷された。被験者はどのような姿勢応答にも抗することなくリラックスするように指示された。刺激後に CoPap が $QSP \pm 4 SD_{QSP}$ を超えて移動した時点で、検者は被験者の胸骨柄あるいは肩甲骨上角のところで応答を押さえ、振動刺激を停止した。応答が 5 秒間認められない場合には、その時点で振動刺激を停止した。足底の各部位について、この試行を 5 回ずつ実施した。試行間に立位で 30 秒間、条件間に座位で 3 分間、いずれも開眼で休憩をとった。次の試行の開始直前には閉眼にて、足関節を回転軸とする身体の随意的な前後傾運動を数回行わせ、姿勢制御における振動刺激の影響をリセットし、かつ振動刺激に対する慣れを防いだ (Thompson et al., 2007)。

(4) 分析

実験 1

足底接地面の画像と足背の画像を重ね合わせ (図3)、QSP と 60%FL 時の中足骨骨頭の位置、接地面前端について、踵からの距離と足部内側からの距離をそれぞれ算出した。

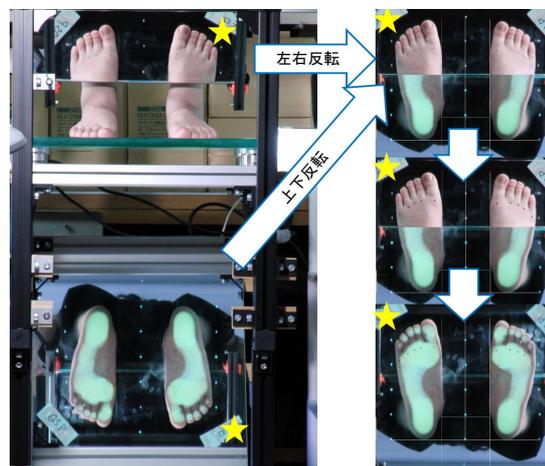


図3. 撮影画像および分析方法

足底圧分布画像から中足骨骨頭部下の最大加圧部位の中心を同定し、踵からの距離と足部内側からの距離を算出した(中ら 2009)。

実験 2

刺激部位別に応答方向(後傾、前傾、応答なし)の割合を算出した。

4. 研究成果

(1) 中足骨骨頭部下の最大加圧部位

中足骨骨頭部下の足底圧分布の中心の平均位置は、第 2、3 中足骨骨頭部の間の後方であった(図 4)。そして、安静立位の範囲で前傾に伴って有意に前方(0.9 ± 1.6 mm)、内側(0.7 ± 4.5 mm)へ移動した。これは、先行研究で得られている結果と同じであった(中ら 2009)。

(2) 前傾に伴う中足骨骨頭の動き

第 1~4 中足骨骨頭部より前方の足底接地面は、前傾に伴って有意に前方へ拡大した(平均距離: 0.9 ± 1.1 mm)。中足骨については、前傾に伴い、第 1、2 中足骨骨頭部が有意に前方へ移動した(第 1: 2.0 ± 1.2 mm; 第 2: 1.3 ± 1.4 mm)。身体前傾時の中足骨の前方移動は接地面の変化よりも大きく、これは第 1、2 中足骨骨頭部が皮膚に対して前方に移動していることを示唆していると推察される。さらに、第 1、2 中足骨の前方移動は、最大加圧部位の前内側への移動と関連していると考えられる。

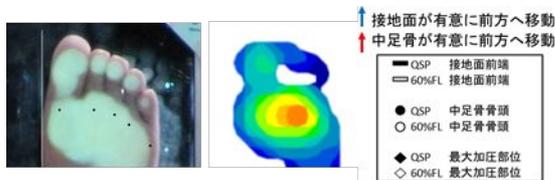
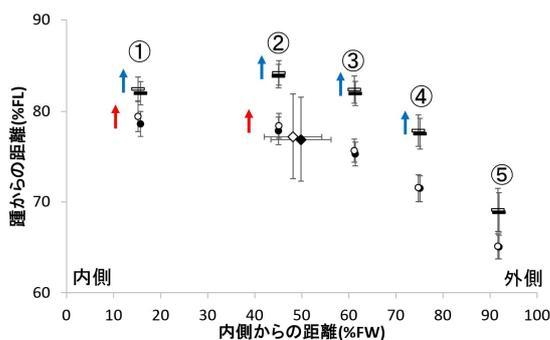


図 4. 足圧中心が QSP および 60%FL のときの接地面前端位置、中足骨骨頭位置、中足骨骨頭部下の最大加圧部位

(3) 足底への振動刺激に対する姿勢応答

中足骨骨頭部下の最大加圧部位およびその前後方の部位への振動刺激に対して、姿勢応答を示した被験者数は 17 名中 15 名であった。残りの 2 名は、この 3 部位への刺激に対

しては応答を示さなかった。図 5 に 15 名の応答割合を示す。中足骨骨頭部下の最大加圧部位は、その前後の部位と比べて、振動刺激に対して後傾応答が生じる割合が高かった。この結果から、最大加圧部位の圧の増加は立位位置知覚において重要な役割を担うことが示唆された。

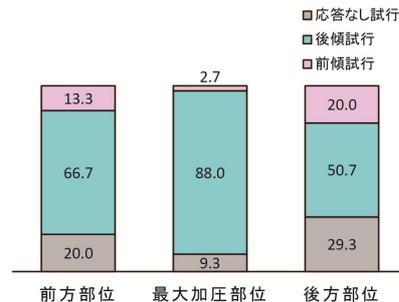


図 5. 最大加圧部位および前方、後方部位への振動刺激に対する姿勢応答の割合 (%)

一方、最大加圧部位の前後方の部位では、前傾応答を示す試行が多く認められた。その部位の圧の増加が身体の後方傾斜を意味したため、その補償応答として前傾応答が認められたのかもしれない。実験 1 で示した立位位置と圧分布の関係を考慮すると、最大加圧部位の後方部位は、安静立位の範囲で身体が後傾した時に圧が増加すると考えられる。したがって、後方部位への振動刺激に対する前傾応答は、補償応答で説明できるだろう。しかし、前方部位への振動刺激に対する前傾応答は説明できない。代表者らは、中足骨骨頭部の最大加圧部位への振動刺激において、比較的低い周波数の刺激、つまり比較的緩徐な感覚入力に対しては、補償応答とは逆の前傾応答が生じることを報告した(Naka et al. 2015)。最大加圧部位の前方部位は、前傾に伴い強い圧が加わる部位であるため、今回用いた振動刺激が相対的に緩徐であったために、前傾応答が生じた可能性がある。

本研究では、振動刺激に対する姿勢応答に、個人内の変動や個人差が認められた。今後の検討課題として、被験者を増やすこと、最大加圧部位以外の部位への振動刺激に対する姿勢応答を検討することが必要と考える。加えて、振動周波数を変化させることによって前傾応答が生じた理由を詳細に検討する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

Naka M, Fujiwara K, Kiyota N: Postural responses to various frequencies of vibration of the triceps surae and forefoot sole during quiet standing. Perception (査読有) 44(1): 39-51, 2015

〔学会発表〕(計1件)

中正美、藤原勝夫、立位位置の前方移動に伴う中足骨骨頭部下の足底圧分布と中足骨位置の変化、日本健康行動科学会第13回学術大会、2014年8月、目白大学・埼玉県・さいたま市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中 正美 (NAKA, Masami)
森ノ宮医療大学・保健医療学部・理学療法学科・助教

研究者番号：90636383