

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：34448

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16408

研究課題名(和文) 扁平足の三次元足部挙動に基づく足底挿板の開発

研究課題名(英文) development custom made foot orthosis based on the three dementional foot kinematics for the flat foot deformity

研究代表者

工藤 慎太郎(Kudo, Shintarou)

森ノ宮医療大学・保健医療学部・准教授

研究者番号：70737915

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は足部の3次元挙動を考慮した足底挿板療法を開発することである。その特徴として、足底挿板の形状を変えずに、硬度を変えた足底挿板が3次元で生じる足部の異常な運動を制動できているかを検討する点にある。我々の研究結果より、扁平足では健常者より、足根骨、中足骨の前方移動が大きいことがわかった。また、その複雑な足部の運動の特徴として立方骨の前方への挙動が大きいことが明らかになった。そのため、外側縦アーチ部分の剛性を高めた足底挿板を使用したところ、後足部の挙動を制動できることが明らかになった。すなわち、形状を変えず、硬度のみを変えた足底挿板で、足部挙動を変化させることができることが証明された。

研究成果の概要(英文)：The aim of those studies were to develop the foot orthosis which based on the three dimensional foot kinematics for the flatfeet deformity. We investigated for the effects of the foot orthosis which change the hardness without changing the form of it on the three dimensional foot kinematics. We found the foot kinematics of the flat feet deformity increased forward movement and decreased medial movements of the tarsals and metatarsals, and the cuboid is the key movements for the flatfeet. Therefore, we developed the custom made foot orthosis that lateral longitudinal arch parts made harder than medial part, and it could be controlled the kinematics of the rear foot. We concluded that foot orthosis which changed the only hardness of the material could be change the three dimensional foot kinematics without changing form of the foot orthosis.

研究分野：理学療法

キーワード：扁平足 足底挿板療法 足部挙動

1. 研究開始当初の背景

直立二足歩行を行うヒトにとって、足部は唯一床面に接地している部位であり、身体から生み出した力を床面に伝えるだけでなく、床面から外界の情報を取得する感覚器としても重要になる。ヒトの小さな足部は7つの足根骨と5本の中足骨、14本の趾節骨から構成される。これらの骨が3次元空間内で互いにリンクした複雑な構造を維持しながら、体重を支持し、内側縦アーチ、外側縦アーチ、横アーチと呼ばれる3つのアーチ構造を有している。この足部アーチは加齢やスポーツなどの運動経験により変形することが知られている。代表的な変形は足部内側縦アーチの低下した扁平足であり、外反母趾や開帳足などの他の足部変形を惹起する、バランス能力の低下を引き起こし転倒のリスクを高める、膝関節や下腿のスポーツ外傷のリスク要因となるなどの問題が生じる。そのため、扁平足改善のための足底挿板が有効になる。

扁平化したアーチを支持するための足底挿板は、一般的にも認知され、臨床でも多く用いられる。その治療効果は、疼痛や静止立位での足部アーチの計測により示されている。しかし、足底挿板療法の形状や材質は、作成者の経験に大きく依存しており、動的場面でのアーチ保持効果を示した研究は少ない。これは複雑な構造をもって機能する足部の挙動を十分に理解できていないためと考えられる。つまり、足底挿板療法の治療効果を示すためには、荷重に対する足部の挙動を明らかにする必要がある。さらに、荷重に対する三次元足部挙動を正常化する足底挿板の開発は望まれる。

現在までの生体における足部挙動の三次元解析手法は、光学式三次元運動解析システムを用いた手法、X線を用いた2D-3Dレジストレーション法、三次元化したCTを用いた解析手法を用

いた方法などが知られている。光学式三次元運動解析システムを用いた手法は多数の反射マーカを足部におくことで足部を多数の体節に分解した足部モデルを用いて解析する。しかし現在まで使用されているモデルでは前足部は1つないし、2つの体節に分類されるため、その挙動を詳細に検討することはできない。X線を用いた手法や三次元化したCT画像から解析する手法は、放射線被曝の問題がある。われわれは、これまでデジタルハイビジョンカメラを用いた三次元運動解析手法を行ってきた。特に、これまで剛体と考えられてきた前足部に注目して、各中足骨頭・底にマーカを10点貼付し、扁平足と健常足の間でマーカの挙動を追跡した。つまり、従来のように、足部アーチをアーチの高さと長さという単純な二次元の指標で検討するのではなく、各骨の三次元挙動の特徴を解析する必要があると考えている。

扁平足に対する足底挿板は、転倒予防や足変形のケア、スポーツ外傷の予防に役立つ。しかし、現在一般に使用されている足底挿板は柔らかい素材のパーツを挿入しており、十分に骨の運動を制動できていない可能性がある。また扁平足に対する足底挿板には形状と材質の決定が、作成者の経験によるという問題がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、(1)扁平足者の足部挙動を明らかにし、(2)足部挙動に基づいた足底挿板を作成し、その効果を足部挙動への変化で検討することとした。

具体的には以下の2点の目標を立て、研究を行った。

- (1) 健常足と扁平足における荷重時の足部の挙動を明らかにする。

足部は多数の骨と関節から成る複雑な

構造をしている。そのため荷重に対する足部の応答は、十分に解明されていない。そこで、これまで申請者が行ってきた足部の運動解析の手法を用いて、健常足と扁平足における荷重時の足部の挙動を明らかにする。

- (2) 扁平足に対し、足部の部位ごとに硬度の異なる足底挿板を作成する。

従来の柔らかい足底挿板ではなく、硬度の高い足底挿板を挿入し、足部挙動の制動効果を確認した。その後、足の部位の毎に硬度を変えた足底挿板を挿入し、足部挙動を計測することで、最適な材質を決定することができると考えられ、形状と材質といった従来、主観的に決められていた部分を客観的なデータから考案した足底挿板を作成する。

3. 研究の方法

実験1

対象は健常成人33名(男性17名、女性16名)の46足とした。Foot posture index-6item version (FPI-6)が5点以下で、かつ足部の疼痛の既往のない健常群21名26足と、FPI-6が5点以上で、かつ足部の疼痛の既往を有する扁平足群12名20足に分類した。なお、FPI-6が5点未満であるが足部に疼痛の既往のある4足、またFPI-6が5点以上であるが、疼痛の既往のない16足は対象から除外した。

運動課題は足部を一步分前に出した立位から体重の70%を検査側下肢に荷重するForward range (FR)とした。なお、検査側の足底面全面が床面に設置した肢位で運動を行った。足部には直径3mmの円形のカラーマーカを15箇所貼付した。貼付位置は、踵骨後方/内側/外側、立方骨、舟状骨、第1~5中足骨頭/底とした(図1)。

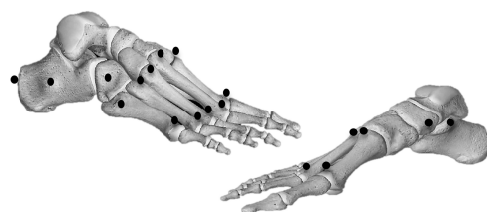


図1 マーカ貼付位置のイメージ

4台のハイビジョンデジタルビデオカメラ(GZ-G5. Victor Co., Tokyo, Japan)を用いて記録周波数60Hzで記録した。全体座標の定義は進行方向をy軸、垂直方法をz軸、y軸とz軸に直交する軸をx軸とした。記録した動画はFrame DIAS (DKH Co. Ltd, Tokyo, Japan)を用いて、手動的にデジタイズを行い、すべてのマーカの三次元座標を計算した。各マーカの前後、内/外側、垂直方向の挙動をそれぞれ2群間でMan-Whitney検定を用いて比較検討した。

実験2

対象はFPI-6が5点以上で回内足と判定される健常成人男女9名18足とした。トリッシュムを用いて座位にて足型を採型し、石膏を用いた陽性モデルを作成した。得られた陽性モデルの足部形状に合わせて、ポリプロピレンを用いて足部内側縦アーチ、外側縦アーチを覆うように足底挿板(内側CMFO)を作成した。さらに陽性モデルに合わせて、踵部と外側縦アーチ部のみを覆う形状で硬度の高い足底挿板(外側CMFO)を作成した(図2)。

被験者には足底挿板なしの場合(CMFOなし条件)、内側CMFOのみ装着した場合(内側CMFO条件)、内側CMFOに外側CMFOを合わせて装着した場合(Full CMFO条件)の3条件で実験1と同じ課題を行った。

運動解析には3次元動作解析装置VICONを用いて、8台の赤外線カメラにより、直径4mmの

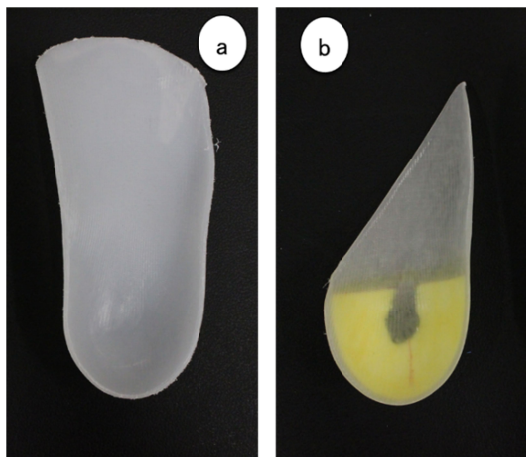


図2 足底挿板

a: 内側 CMFO b: 外側 CMFO 内側 CMFO の低側に外側 CMFO をつける事ができる。

反射マーカの挙動を計測した。なお、反射マーカは第1・2・5中足骨頭・第1・3・5中足骨底部、舟状骨、立方骨、踵骨内側、外側、後方に各マーカが干渉しないように貼付した。各マーカの三次元座標はNexus2 (Vicon, Oxford, UK) を用いて算出した。なお、測定は5回行い、平均値を代表値として算出した。各マーカの前、後、垂直、内/外側方向の3方向の挙動を3条件で比較検討した。統計学的手法にはSPSS version24を用いて、フリードマン検定、事後検定にBonferroni法を選択した。

4. 研究成果

実験1

踵骨後方を除く全てのマーカは、荷重負荷に伴い、前内下方に移動した。また踵骨後方のマーカは前内上方に移動した。扁平足群の前方への挙動は、健常群より大きく、第1中足骨頭、第1~3中足骨底、立方骨、踵骨後方で有意差を認めた。内側方向への挙動は扁平足群で健常群より大きく、第1・3・4中足骨頭、第1~3中足骨底、

舟状骨、立方骨で有意差を認めた。垂直方向への挙動は扁平足群で第1・4・5中足骨頭、第5中足骨底、舟状骨、立方骨で有意に小さく、第2中足骨頭、踵骨後方で有意に大きかった。さらに有意差のあった項目で、判別分析を行うと、第3中足骨底部の内側への挙動、立方骨の前方への挙動が選択された (Wilk's lambda 0.3; kai square 37.7; $P < 0.01$)。

以上の結果から扁平足と健常足での荷重負荷時の足部内運動の違いが示された。特に、健常足では足部荷重負荷時に内側への挙動が大きくなるのに対して、扁平足群では前方への挙動が増加していた。健常足においては足底部に位置する内在筋や靭帯の緊張により、足部の剛性を保つため、足部の前方への挙動が制限されると考えられた。一方、扁平足ではそれらのアーチ支持機構の機能低下により、足部の剛性が保てず、前方への挙動が増加するため、内側への挙動が低下したと考えた。さらに、この足部挙動を制限するには外側縦アーチを構成する立方骨の挙動が重要になることが多変量解析の結果から抽出された。扁平足に対する足底挿板療法において、内側縦アーチだけでなく、外側縦アーチを支持することで良好な効果が得られることはよく知られているが、その根拠は不明確であった。本研究の結果は、外側縦アーチの支持が有効になることを示す根拠になったと考えている。

実験2

内外側方向に関しては、第5中足骨頭を除く全てのマーカの3条件で有意差を認めた。内側CMFO条件とFull CMFO条件では、CMFOなし条件より有意に低値を示した。さらに、第3中足骨底と踵骨内側、踵骨後方の挙動はFull CMFO条件で内側CMFO条件よりも有意に低値を示した。

前後方向に関しては、第2中足骨頭、第1中

足骨底、立方骨、舟状骨、踵骨外側、踵骨後方のマーカの挙動に有意差を認めた。内側 CMFO 条件の第 1 中足骨底、立方骨、舟状骨の挙動は CMFO なし条件より、有意に低値を示した。Full CMFO 条件の舟状骨は CMFO なし条件より低値を示した。また第 1 中足骨底、踵骨外側/内側は内側 CMFO 条件より有意に大きかった。

垂直方向に関しては、第 5 中足骨頭/底、踵骨外側を除くほとんどのマーカが 3 条件で有意差を認めた。Full CMFO 条件の第 2 中足骨頭、第 3 中足骨底、立方骨は CMFO なし条件より有意に高値を示した。また Full CMFO 条件の踵骨内側、舟状骨は CMFO なし条件より低値を示した。Full CMFO 条件の第 1・2 中足骨頭、第 1・3 中足骨底と立方骨は内側 CMFO 条件と比べて有意に大きかった。

つまり、Full CMFO 条件は後足部の挙動を制限することができた。すなわち、形状を変えず、硬度のみを変えることで、足部挙動を変化させることができることが証明された。従来は、足底挿板療法は形状の変化を主体に論じられてきたが、硬度の変化によっても足部挙動が変化することが明らかになった。この結果は今後の足底挿板療法を考える上で、貴重な基礎的データとなると考えられた。すなわち、足底挿板療法を検証する上では、形状のみではなく、材質も十分に検討する必要があることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

Shintarou Kudo, Yasuhiko Hatanaka, Toshihiro Inuzuka. Effects of a foot orthosis custom-made to reinforce the lateral longitudinal arch on three-dimensional foot kinematics. 2018, The Foot and Ankle Online Journal 11 (1): 1. doi: 10.3827/faoj.2018.1101.0001

Shintarou Kudo, Yasuhiko Hatanaka. Comparison of the foot kinematics during weight bearing between normal foot feet and the flat feet. 2016, The Foot and Ankle Online Journal 9 (1): 2 doi: 10.3827/faoj.2016.0901.0002

6. 研究組織

(1) 研究代表者

工藤慎太郎 (KUDO Shintarou)

森ノ宮医療大学・保健医療学部・准教授

研究者番号: 70737915