

令和元年6月3日現在

機関番号：20101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K13092

研究課題名(和文) 扁平足の3次元空間構造偏位の解明 - 新規装具療法の開発を目指して

研究課題名(英文) Three Dimensional Analysis of the Foot Structure in Patients with Flatfoot Deformity

研究代表者

野崎 修平 (Nozaki, Shuhei)

札幌医科大学・保健医療学部・研究員

研究者番号：00593485

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、仮想荷重装置を用いて扁平足の内部で生じる骨動態の特徴とその骨形態要因を探索し、扁平足障害の病態発生メカニズムに迫ることを目的とした。

71足のCT画像を対象とした踵骨の形態解析から、踵骨後関節面の前額面上の傾斜角度に大きなバリエーションが存在することが示された。作製した仮想荷重装置を用いた足部CT画像の解析から、実際の扁平足症例においては、非荷重・荷重条件ともに踵骨の外反・内旋角度が高値を示す可能性が示唆された。

本研究から、踵骨後関節面の前額面上の傾斜角度に大きな個人差が存在し、この形態変異が扁平足に特徴的な荷重条件における踵骨の外反角度の増大を引き起こす可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

扁平足内部の骨格構造および骨動態の特徴を解明することは、扁平足障害の病態発生メカニズムの解明のために必須である。本研究は、扁平足障害に対する効果的なリハビリテーション治療の開発、膝関節を含む下肢の運動器疾患に対する新規保存治療方法の開発に貢献する。

研究成果の概要(英文)：In this study, we try to explore the morphological and kinematic features of the tarsal bones under axial loading conditions in patients with flatfoot deformity for gaining insights towards understanding its etiology and mechanism. Specifically, we have developed a foot and ankle loading device and evaluated validity and reproducibility of the device. In addition, morphological variability of the calcaneus and kinematics of the calcaneus in patients with flatfoot deformity under axial loading were assessed.

Analysis of CT images acquired from 71 feet exhibited large variations in the coronal orientation of the posterior facet on the calcaneus. In addition, analysis of the CT images acquired using foot and ankle weight-bearing device suggested that patients with flatfoot deformity would exhibit large calcaneal valgus in both non-weight and weight-bearing conditions.

研究分野：人間医工学

キーワード：扁平足 足根骨 形態変異 仮想荷重

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

扁平足は足部内側縦アーチが低下した状態と定義される。扁平足は後脛骨筋腱の変性を伴い、歩行等の日常生活動作において足部内側部に疼痛を生じることで日常生活の質を低下させる。また、また、スポーツを行う若年者においては、扁平足が膝蓋大腿疼痛症候群と脛骨後内側疼痛症候群の一因となる。従って、国民の健康維持・スポーツ実施者の外傷・障害予防の観点から、扁平足の効果的な予防・治療法を開発することが重要である。扁平足の効果的な保存療法の開発のためには、扁平足の病態の本質である足部を構成する骨格構造の偏位とその形態的要因を解明することが必須であるが、扁平足に特異的な足部骨格構造偏位とその骨形態的要因は明らかにされていないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究では、仮想荷重装置及び CT 画像診断装置の両者を同時適応することで、扁平足内部の骨配列の特徴とその形態的要因の解明を試みた。具体的には、扁平足対し仮想的な荷重負荷を加えた場合の踵骨の 3 次元動態の特徴を解明し、この動態を引き起こす骨形態的要因を特定することを目指す。本研究により得られる知見は、扁平足障害の発生メカニズムの解明と効果的なリハビリテーション治療の開発のみならず、膝関節を含む下肢の運動器疾患に対する新規リハビリテーション戦略の創出のための基盤情報となる。

3. 研究の方法

(1) 仮想荷重装置の妥当性・再現性の検証

本研究では、荷重環境下における扁平足の 3 次元足部骨モデルを構築するために、仮想荷重装置を用い、被験者の身体へ体重の 100%の軸荷重を加えた状態において足関節・足部の CT 画像撮像を実施する（図 1）。この仮想荷重装置が再現する荷重状態が生理的荷重条件に近い環境を再現しているかを確認するために、健常成人 5 名 10 足（男性 3 名・女性 2 名）を対象に、非荷重・荷重の 2 条件における足圧分布を F-スキャンシステム（Tekscan, US）を用い計測比較した（図 2）。計測は各被験者につき 5 施行とした。荷重条件における足圧計測 5 施行の再現性も合わせて確認した。足圧の計測項目は、前足部、中足部、後足部における接地面積と足底圧とした。



図 1 仮想荷重装置の概観

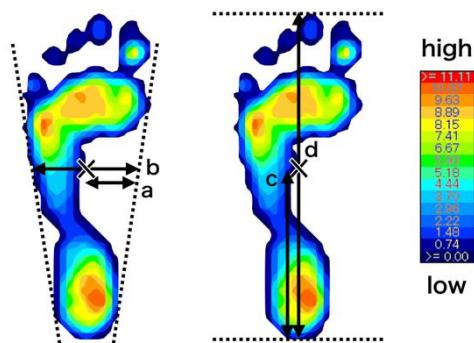


図 2 足底圧計測結果の例

×は足圧中心の位置を示す。

(2) 踵骨の形態計測方法の開発

踵骨の動態に関与すると推察される踵骨の関節面形態の評価方法を考案し、踵骨が温存された足部 CT 画像（71 名 71 足、男性 42 名・女性 29 名）を対象にその形態的バリエーションを調査した。コンピュータ・ソフトを使用し、CT 画像から踵骨の 3 次元モデルを構築した（Mimics ver.16, Materialise, Belgium）。構築した骨モデルを用い、踵骨の前中後関節面の結合型（図 3）の度数を調べた。A 型は前・中・後の全関節面が分離した型、B1 は前・中関節面が部分的に結合した型、B2 は前・中関節面が完全に結合した型とした。3DCAD ソフト（Design X, 3DSystems, US）を用い、下記の方法により踵骨関節面の傾斜角度の計測を実施した。Gutekunst 2013 の方法に準じ、踵骨の座標系を設定した。後関節面の法線を z_p 軸、 z_p 軸に垂直かつ後関節面に近似した円柱の軸に平行な直線を y_p 軸、 z_p - y_p 軸に垂直な直線を x_p 軸、関節面の重心を原点とした後関節面の局所座標系を設定した（図 4-a）。前中関節面の法線を z_{am} 軸、 z_{am} 軸に垂直かつ前中関節面に近似した楕円の長軸に平行な直線を y_{am} 軸、 z_{am} - y_{am} 軸に垂直な直線を x_{am} 軸、関節面の重心を原点とした前中関節面の局所座標系を設定した（図 4-b）。踵骨の後・前中関節面の傾斜角度をオイラー角により算出した。

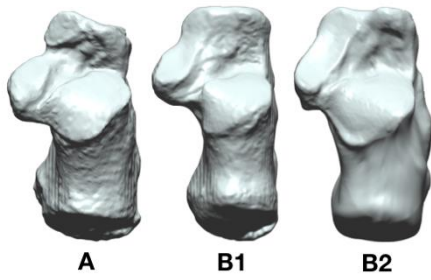


図3 踵骨関節面の結合型

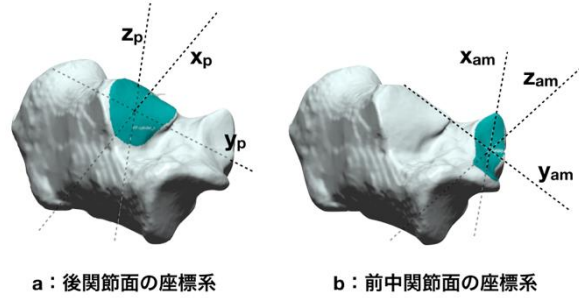


図4 踵骨関節面の座標系

(3) 扁平足における踵骨の形態・動態解析

(2) により考案した手法を用い、扁平足における踵骨の関節面の傾斜角度を算出した。また、作製した仮想荷重装置を用い、正常足及び扁平足を有する症例に対し、非荷重 (4kg)・荷重 (体重比 100%) の 2 条件において CT 撮影を実施した。得られた CT 画像から下腿及び足部の骨の 3 次元モデルを構築した。Yamaguchi 2009・Gutekunst 2013 の方法に従い、脛骨・踵骨の骨モデルに対し局所座標系を設定した。非荷重・荷重の 2 条件における脛骨に対する踵骨の傾斜角度を算出した。

4. 研究成果

(1) 仮想荷重装置の妥当性・再現性の検証

仮想荷重装置による荷重負荷に伴い被験者から疼痛・不快感等の訴えがあることはなかった。非荷重・荷重の 2 条件間において足圧計測項目に有意差は認めなかった (表 1)。前後方向の重心位置以外は、中等度から高度の再現性を示した (表 2)。従って、作製した仮想荷重装置は、生理的な立位状態を再現していると考えられる。

表 1 立位・荷重条件の足圧

	立位	仮想荷重	P 値
接地面積(cm ²)	98.6 ± 11.4	95.8 ± 7.0	0.285
接地割合 (%)			
前足部	45.9 ± 3.4	44.2 ± 3.3	0.119
中足部	19.6 ± 4.2	20.7 ± 4.0	0.281
後足部	34.5 ± 2.6	35.2 ± 3.1	0.635
足底圧 (N/cm ²)			
全体	3.39 ± 0.35	3.43 ± 0.52	0.765
前足部	2.75 ± 0.60	3.07 ± 0.55	0.121
中足部	1.61 ± 0.51	1.91 ± 0.70	0.074
後足部	5.22 ± 0.73	4.72 ± 1.13	0.295
足圧中心位置 (%)			
内外側	49.1 ± 3.6	48.9 ± 3.3	0.825
前後側	40.7 ± 3.3	43.8 ± 5.2	0.241

表 2 荷重条件における足圧の再現性

	ICC (1,1) (95% CI)	変動係数 (%)	SEM
足底圧 (N/cm ²)			
全体	0.861 (0.707-0.957)	15.06	0.141
前足部	0.715 (0.475-0.903)	18.01	0.380
中足部	0.877 (0.736-0.962)	36.82	0.185
後足部	0.645 (0.384-0.873)	23.95	0.930
足圧中心位置 (%)			
内外側	0.624 (0.359-0.864)	6.81	2.74
前後側	0.496 (0.221-0.798)	11.92	6.91

(2) 踵骨関節面の傾斜角度の変異

踵骨関節面の結合型の度数は、A 型 24 個 (34%)、B1 型 22 個 (31%)、B2 型 25 個 (35%) であった。後関節面は、底側・外下方・内側へ傾斜し、各方向に 21.6°・54.7°・36.0° の範囲のバリエーションを示した。前中関節面は、底側・内下方・内側へ傾斜し、各方向に 34.1°・64.0°・50.0° の範囲のバリエーションを示し、後関節面の内反/外反方向の傾斜角度には大きなバリエーションが存在することが本研究から示された。このようなバリエーションの中で、踵骨の骨体に対する後関節面の内反角度が高値である場合は、扁平足に特徴的な距骨に対する踵骨の外反姿勢を想起する可能性がある。

(3) 扁平足における踵骨の形態・動態解析

正常足 (57 歳, 女性, BMI19.3)・扁平足 (62 歳, 女性, BMI21.6) 例の踵骨関節面の傾斜角度を表 3、非荷重・荷重条件における踵骨の傾斜角度を表 3 へ示した。扁平足例は正常足例と比較し、踵骨後・前中関節面の底側角度は高値を、内側への傾斜角度は低値を示した。また、扁平足例は正常足例と比較し、非荷重・荷重条件ともに脛骨に対する踵骨の外反角度が高値を示した

(図 5)。

表 3 脛骨に対する踵骨の傾斜角度

	正常足例 (n=1)	扁平足例 (n=1)
非荷重		
底屈/背屈	-7.1	-6.5
内反/外反	12.9	-0.8
内旋/外旋	-3.9	10.4
荷重		
底屈/背屈	-11.9	-8.8
内反/外反	8.2	-6.2
内旋/外旋	-8.7	12.6

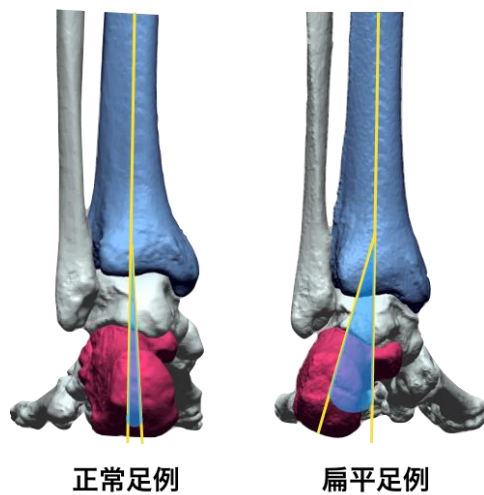


図 5 荷重条件における踵骨内反/外反角度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計2件）

1. Nozaki S, Watanabe K, Kato T, Miyakawa T, Kamiya T, Katayose M. Radius of curvature at the talocrural joint surface: inference of subject-specific kinematics. *Surg Radiol Anat.* 2019;41:53-64. 査読有
2. Nozaki S, Watanabe K, Katayose M. Three-dimensional morphometric analysis of the talus: implication for variations in kinematics of the subtalar joint. *Surg Radiol Anat.* 2017;39:1097-106. 査読有

〔学会発表〕（計3件）

1. 小田航平, 本村遼介, 野崎修平, 青木信裕, 小林匠, 片寄正樹. 足部へのテーピングが等尺性収縮中の下腿三頭筋活動に与える影響. 第1回足の構造と機能研究会学術集会; May, 2018; 大阪.
2. 西川祐未, 野崎修平, 加藤拓也, 吉川祐樹, 成田有子. Microsoft Kinect Version2を用いたランジウォーク動作中の3次元関節角度計測の信頼性. 第28回日本臨床スポーツ医学会学術集会; Nov, 2017; 東京.
3. 能戸照生, 野崎修平, 廣田健斗, 吉川祐樹, 成田有子. Microsoft Kinect Version2を用いた片脚スクワット中の3次元関節角度計測の信頼性. 第28回日本臨床スポーツ医学会学術集会; Nov, 2017; 東京.

〔図書〕（計1件）

1. 野崎修平. 足部・足関節の機能解剖とバイオメカニクス. 片寄正樹（監）, 小林匠, 三木貴弘（編）. 足部・足関節理学療法マネジメント. 東京: メジカルビュー社; 2018: p.5-20.

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者
研究協力者氏名：
ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。