

平成 31 年 4 月 23 日現在

機関番号：32619

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2018

課題番号：26870640

研究課題名(和文) 荷重動作における生体内三次元動態解析手法を用いた足部・足関節の運動解析

研究課題名(英文) In-vivo foot and ankle kinematics during dynamic load tasks

研究代表者

深野 真子 (Fukano, Mako)

芝浦工業大学・工学部・准教授

研究者番号：00634362

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：動的な荷重状況として歩行動作を取り上げ、足関節(距腿関節および距骨下関節)の動きを詳細に明らかにした。第一に健康な若年者を対象として実験を行い、その性差を明らかにした。歩行中の距腿関節と距骨下関節の動きは男女で同様のパターンであったが、関節の変位量は男性より女性の方が大きいことが明らかとなった。第二に足関節捻挫を繰り返した足と健康な足での比較を行った。足関節捻挫を繰り返した足では踵接地から立脚期の60%にかけて距腿関節でより大きな内旋が起こることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

足部や足関節は骨の動きに対して皮膚や足底軟部組織の変形による誤差が大きいため、関節運動の詳細な計測が困難であったが、本研究において動作遂行中の距腿関節・距骨下関節のキネマティクスに関して定量的なデータが得られた点で学術的に意義がある。

関節や骨の障害は近年ロコモティブシンドロームと呼ばれ、メタボリックシンドロームや認知症と並んで「健康寿命の短縮」「ねたきりや要介護」の三大要因のひとつであり、予防が重要である。本研究で得られた知見は、足部・足関節の障害発症要因検討および予防研究への発展が見込まれ、高齢化が進む日本において社会的な意義も明らかである。

研究成果の概要(英文)：We analyzed talocrural and subtalar joint kinematics during gait and examined 1) sex-based difference and 2) comparison between people with repetitive ankle sprains and healthy controls. This study found that 1) the range of motion in talocrural dorsi/plantar flexion, subtalar eversion/inversion and subtalar external/internal rotation were significantly larger in females than males, and 2) people with repetitive ankle sprains exhibited a greater talocrural internal rotation from heel contact to 60% of the stance phase than the healthy controls.

研究分野：スポーツ医学、バイオメカニクス

キーワード：距腿関節 距骨下関節 キネマティクス 性差 足関節捻挫

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

日本では要介護の約10%、要支援の約20%の主な原因を変形性関節症などの関節疾患が占めている。スポーツで起こる外傷や障害は、後に関節疾患を引き起こす可能性が高い。足関節内反捻挫を起こした選手の中の約30%が慢性的な足関節不安定症に移行し、更にその内の約78%が10年以上を経て変形性足関節症を発症している。その発生機序は、外傷や障害に伴う組織の損傷や変形により距腿関節・距骨下関節を含む足関節や足部関節のキネマティクスが変化し、関節内に生じる力が変化するためと考えられているが、具体的にどのような動きや力の変化が生じるかは明らかでない。

距腿関節と距骨下関節の動きに関する詳細な研究は多くない。その理由は、足部では骨の動きに対して皮膚や足底軟部組織の変形による誤差が大きいため距骨の動きを高い精度で計測する方法論が確立されていない事、参考となる健常者の可動域データも存在しない事が挙げられる。それゆえ、足部や足関節に起こる外傷障害などの問題について、定量的なデータに基づく議論は多くなされていない。

関節のキネマティクスを定量化できる方法として、fluoroscopy や cineangiography で撮影したエックス線動画像を用いて、動作遂行時の関節の詳細なキネマティクスを解析する研究が近年増えつつある。中でも、3D-2D model based registration techniqueは、三次元computed tomography(CT)を用いて作成した骨モデルとエックス線動画像をマッチングさせて関節の三次元的な動きを詳細に解析する方法であり、膝関節を中心に2000年代以降多く用いられるようになった。この解析手法はごく近年足関節にも応用され始め、足関節の人工関節置換手術を受けた患者を対象として、動作中の関節運動の解析が数件試みられている。しかしながら、エックス線動画像記録装置の性能上7.5~30Hzでの撮影に限られ、かつ撮像エリアが約25cm四方に限定されるという制約がある。そのため、生体を対象とした動的な運動解析と言えども、実際のところではスポーツ動作や日常動作とはかけ離れた極めて低速で行われた動作や、関節角度や荷重量を変えて複数回静的な撮影をし、模擬的な動作と捉えて解析を行っている。そのため自然な動作の中での関節の経時的なキネマティクスを明らかにするという課題は、現在のところまだ解決されていない。

### 2. 研究の目的

動作中の距腿関節・距骨下関節のキネマティクスを定量的に明らかにすること、およびそれらのキネマティクスが障害を有する足と健康な足でどのように異なるかを明らかにすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### 性差の検討

健康な若年者(男性10名、女性7名)を対象として実験を行った。対象者には、研究者自作の歩行路上で1歩行周期の歩行を課した。歩行立脚期中の右足を対象とし、シネアンギオグラフィ(東芝メディカルシステムズ社製)を用いて矢状面からエックス線透視連続撮影を行った(60Hz、シャッタースピード1/1000秒)。併せて、3D-CT装置(PHILIPS社製)を使用し、被験者の足部の3D-CTデータを0.8mm間隔で足底から外果より近位方向に15cmの範囲で取得した。取得したCTデータより、セグメンテーションソフト(ITK-snap, オープンソース)を使用して被験者それぞれの脛骨・距骨および踵骨の三次元骨モデルを作成し、CADソフト(Geomagic studio, Raindrop Geomagic社製)を使用して各骨に骨座標を設定した。

得られたデータは、3D-2D model based registration technique (以下 MBRT) を用いて解

析した。エックス線動画像に 3D-CT から作成した三次元骨モデルを重ね合わせて骨縁を正確にマッチングし、各骨の三次元骨座標を取得した。座標データより、骨同士の相対的な位置関係を計算し、距腿関節・距骨下関節のキネマティクスを算出した。得られたキネマティクスデータは、男女で比較した。

#### 足関節捻挫を繰り返した足と健康な足の比較

足関節捻挫を繰り返している者 10 名(男性 8 名、女性 2 名、捻挫の反復回数 3.4 回± 0.5 回)および過去に下肢に重大な外傷障害を有したことの無い者 8 名(男性 6 名、女性 2 名)を対象とした。実験試技およびデータの所得・解析方法は と同様である。

得られたデータは、足関節捻挫を繰り返している足と健康な足とで比較した。

## 4 . 研究成果

### 性差の検討

歩行時立脚期中の距腿関節と距骨下関節のキネマティクスは、男性と女性で同様のパターンを示した。しかしながら、距腿関節の底背屈、距腿関節の内外反および内外旋の変位量は男性よりも女性で有意に大きい値であった。先行研究において、男女で距腿関節を構成する脛骨と腓骨の適合度合いが男女で異なる(Yildirim et al. 2003)と報告されており、また、一般的に女性は男性よりも関節靭帯の弛緩性が高いことから、女性において関節の変位量が大きくなったと推察された。

#### 足関節捻挫を繰り返した足と健康な足の比較

足関節捻挫を繰り返した足は、踵接地から立脚期の 60%にかけて距腿関節でより大きな内旋が起こることが明らかとなった。この結果は、足関節捻挫を繰り返した者において前距腓靭帯の不全により、距骨がより内旋位をとったためと推察された。先行研究において前距腓靭帯を損傷した足において歩行時の距骨滑車内側の軟骨への負荷が増す(Caputo et al. 2009)ことが示されており、本研究で明らかとなった足関節捻挫を繰り返した者の大きな距骨の内旋が、変形性足関節症の発症の一要因となり得ると予測された。

#### <引用文献>

Yildirim, H., Mavi, A., Buyukbebeci, O., & Gumusburun, E. (2003). Evaluation of the fibular incisura of the tibia with magnetic resonance imaging. *Foot and Ankle International*, 24(5), 387–391.

Caputo, A. M., Lee, J. Y., Spritzer, C. E., Easley, M. E., DeOrion, J. K., Nunley, J. A., 2nd, & DeFrate, L. E. (2009). In vivo kinematics of the tibiotalar joint after lateral ankle instability. *Am J Sports Med*, 37(11), 2241-2248.

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

1. 深野真子、峯田晋史郎、干場拓真、広瀬統一、福林徹 「日本語版 Athlete Fear Avoidance Questionnaire (AFAQ-J)の開発」日本臨床スポーツ医学会誌 vol.27(1), 145-148 (2019)
2. Fukano Mako, Fukubayashi Toru, Scott A. Banks. Sex Differences in Three-dimensional Talocrural and Subtalar Joint Kinematics during Stance Phase in Healthy Young Adults. *Human Movement Science* Oct;61, 117-125 (2018).
3. Fukano Mako, Inami Takayuki, Nakagawa Kento, Narita Takaya, Iso Sshigeo. Foot posture alteration and recovery following a full marathon run. *European Journal of Sport*

Science vol.18(10), 1338-1345 (2018)

4. Fukano Mako, Iso Sshigeo. Change in foot shape after long-distance running. Journal of Morphology and Kinesiology vol.1(1), 30-38 (2016)

〔学会発表〕(計 4件)

1. Fukano Mako, Quantitative assessment of Mechanical ankle laxity and relationship with talocrural and subtalar joint range of motion in stance phase of walking. International Society of Biomechanics in Sports, Auckland, New Zealand (September 2018)

2. Fukano Mako, Kumai Tsukasa, Fukubayashi Toru. Ankle kinematics of patients with repetitive ankle sprains during walking stance phase. 2018 annual meeting of the orthopedic research society, New Orleans, USA (March 2018)

3. 深野真子、峯田晋史郎、広瀬統一、福林徹 関節不安定症を有する者における Fear avoidance beliefs の特徴、第 29 回日本臨床スポーツ医学会学術集会、東京、2017 年 11 月

4. 深野真子、福林徹 歩行動作における距腿関節・距骨下関節キネマティクスの性差の検討、第 25 回日本臨床スポーツ医学会学術集会、2014 年 11 月

〔図書〕(計 0件)

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。