

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 27 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700595

研究課題名(和文)変形性膝関節症における運動療法が歩行中の膝三次元動態に与える効果

研究課題名(英文)Effect of exercise therapy on three-dimensional kinematics of the knee during gait in patients with knee osteoarthritis

研究代表者

山口 智志 (Yamaguchi, Satoshi)

千葉大学・医学部附属病院・助教

研究者番号：30596953

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：健常人と変形性膝関節症患者を対象に、3D-2D registrationを用いてスクワットおよび歩行中の三次元膝動態を計測した。健常人における歩行時の膝関節動態は、スクワット動作と比べて大腿骨の回旋角度が有意に少なく、また回旋中心がより外側にあった。また歩行時の関節接触部位はスクワットとは異なっていた。変形性膝関節症患者では、歩行、スクワットともに健常人と比べて脛骨の前方偏位と内旋がみられた。

研究成果の概要(英文)：We measured three-dimensional knee kinematics during squat and gait in healthy subjects and patients with medial knee osteoarthritis using a fluoroscope and 3D-2D registration techniques. In the healthy subjects, the amount of axial rotation during gait was significantly smaller than that during squat activity. The center of rotation during gait was located significantly more laterally than that during squat activity. The estimated tibiofemoral contact location was also different between the two activities. In the patients with medial knee osteoarthritis, significant anterior translation and internal rotation of the tibia were observed compared to the healthy subjects. The kinematics changes in the osteoarthritis patients were found during both squat and gait activities.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学、リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：変形膝関節症 膝動態解析 3D-2D registration

## 1. 研究開始当初の背景

我が国の変形性膝関節症患者は200万人を超えるといわれており、高齢者の生活の質を低下させる要因の一つである。また年間約4万件の人工膝関節置換術が施行されている。早期よりの治療、さらに進行の予防は患者の生活の質の改善のみならず、医療費削減の観点からも社会的要請が大きい。

正常膝および変形性膝関節症患者に対する動態解析は、主に体表に接着した光学マーカーをビデオカメラで記録する方法で行われてきた。しかし、膝関節は単純な蝶番関節ではなく、屈曲伸展にともない大腿骨顆部は脛骨高原上で内外旋しており、また関節面の接触部位は前後に移動する。誤差が大きい体表マーカーによる計測では、これらの微細な動きをとらえることができない。近年、関節面でのわずかな動態の変化によって引き起こされる関節接触部位の変化が、その後の軟骨の菲薄化を予測できることが報告されている。変形性膝関節症の病態解明や、治療効果の機序の解明のためには、関節面の接触部位を含めた詳細な三次元動態の計測が不可欠である。

三次元/二次元画像位置合わせ(3D-2D registration)は、X線透視画像とCTより作成した3次元骨モデルを使用して、生体内での3次元関節動態や関節接触部位を計測できる手法である。毎秒50枚の高速で撮影ができる心臓血管造影用のX線透視装置を用いることにより、歩行中の人工膝関節の生体内動作解析が可能となる。

## 2. 研究の目的

(1)本研究の第一の目的は、高速度X線透視装置と3D-2D registrationを用いて、正常人におけるスクワット動作と歩行動作の動態解析を行い、両者を比較することである。

(2)第二の目的は、変形性膝関節症患者のスクワット、歩行中の動態解析を行い、正常膝の動態と比較することである。特に、膝関

節の回旋パターンと関節接触部位の変化に注目することにより、変形性膝関節症の病態を関節動態の面から明らかにする。

## 3. 研究の方法

(1)対象は、下肢に障害や外傷の既往がない健康成人10名(男性5名、女性5名)である。平均年齢は27歳、平均BMIは20だった。膝関節単純X線立位正面像における平均大腿脛骨角は177度だった。

X線透視装置(AREX UC800A, Toshiba, Tochigi, Japan)を用いて歩行、スクワットの各動作の左膝関節側面像を撮影した。歩行はトレッドミル上で1m/秒の速度で行い、50枚/秒で撮影した。スクワットは完全伸展位から屈曲90度までを約2秒かけて屈曲し、10枚/秒で撮影した。また、関節面の近位、遠位15cmのCT(Aqilion, Toshiba, Tochigi, Japan)をスライス幅1mmで撮影した。画像データをソフトウェア(ITK-snap, Pennsylvania, USA)にとりこみ、骨の輪郭を抽出した後、大腿骨、脛骨/腓骨の3次元骨モデルを作成した

(Geomagic studio, Geomagic, Research Triangle Park, USA)。各骨モデルには三次元座標を定義した。ソフトウェア上で

(JointTrack,

<http://sourceforge.net/projects/jointtrack/>)X線画像に3次元骨モデルを投影し、両者の輪郭を重ね合わせることにより、膝関節の3次元動態を計測した。画像位置合わせはまず手動で行い、その後ソフトによる最適化を行った。

画像位置合わせの後、膝関節の3次元動態を算出した。関節角度の計算はJoint Coordinate Systemを用いた。スクワットは膝関節完全伸展位から屈曲90度までを5度ごとに計測した。歩行は踵接地を0%、全歩行周期を100%とし、5%ごとに計測した。

内側、外側脛骨高原上における大腿骨内側顆および外側顆の関節接触点を推定し、接触点の前後移動量を計測した。さらに、内側と

外側脛骨高原上の接触点を結んだ直線を脛骨高原の水平面座標に投影し、大腿骨の水平面における平均回旋中心を求めた。回旋中心の内外側方向の位置を、脛骨高原の横径に対する割合（内側縁:50%、外側縁-50%）として算出した。

歩行、スクワットの各動作における脛骨高原上の大腿骨の回旋量、大腿骨の平均回転中心をWilcoxonの符号順位検定を用いて比較した。 $p < 0.05$ を有意差ありとした。

(2) 対象は、下肢に障害や外傷の既往がない健常成人女性（健常群）5名と、変形性膝関節症患者（OA群）女性5名である。平均年齢は各24歳、54歳、平均BMIは各20、25だった。平均大腿脛骨角は各177度、181度だった。患者群のX線病期はKellgren-Laurence分類が4例、1例だった。

研究(1)と同様に、X線透視装置を用いて各被験者の歩行およびスクワット動作を記録した。3D-2D registrationを用いて各動作中の3次元膝動態を計測した。

歩行、スクワットの各動作における脛骨高原上の大腿骨の回旋量、大腿骨の平均回転中心を健常群とOA群で比較した。反復測定分散分析を用い、 $p < 0.05$ を有意差ありとした。

#### 4. 研究成果

(1)スクワット動作では、膝関節屈曲に伴い脛骨は内旋した。完全伸展から膝屈曲90度までの回旋量は平均21度だった。一方歩行動作では、立脚期から遊脚初期に相当する歩行周期0-75%で脛骨は内旋し、その後の遊脚期で外旋した。回旋量は平均10度であり、スクワットに比べ回旋量が有意に少なかった( $p=0.005$ )。関節接触点は、スクワットでは膝屈曲に伴い大腿骨内側顆、外側顆ともに脛骨高原上を後方に移動した。移動量は内側で平均5mm、外側で平均12mmであり、外側で移動量が大きかった( $p=0.005$ )。歩行動作では、歩行周期0-20%、40-80%の2回で内側、

外側の関節接触点ともに後方に移動した。移動量は内側で平均9mm、外側で平均8mmであり。内側と外側で移動量に差がなかった( $p=0.33$ )。脛骨高原状における大腿骨の平均回旋中心は、スクワット動作では平均29%であり、回旋中心は内側脛骨高原状にあった、一方歩行動作では平均-12%であり、スクワットより有意に外側にあった( $p=0.005$ )。

(2)スクワット動作では、健常群、OA群ともに膝関節屈曲に伴い脛骨は内旋しており、回旋パターンは両群とも同様だった。回旋量は健常群で平均21度、OA群で18度で差がなかったが、OA群では脛骨が有意に内旋しており( $p=0.005$ )特に膝完全伸展位では6度の差を認めた。歩行動作では、両群ともに実験(1)で認めたものと同様の回旋パターンを示した。回旋量は健常群で平均9度、OA群で平均10度であり差がなかったが、OA群では健常群と比べて脛骨が有意に内旋しており( $p=0.005$ )、その差は全歩行周期を通じて4-5度だった。スクワット動作中の大腿骨の平均回旋中心は、健常群では平均26%、OA群では平均45%であり、OA群で回旋中心がより内側にある傾向があったが有意差はなかった( $p=0.05$ )。歩行動作中の大腿骨の平均回旋中心は、健常群で平均-15%、OA群で平均-12%であり、差がなかった( $p=0.22$ )。

#### 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)

向山 俊輔、山口 智志、佐粧 孝久、齊藤 雅彦、池川 直志、赤木 龍一郎、村松 佑太、松木 圭介、高橋 和、3D-2D registrationを用いた健常膝関節における歩行とスクワットの3次元動態の比較、千葉スポーツ医学研究会雑誌、査読有、No9、2012、p1-5

〔学会発表〕(計6件)

向山 俊輔、山口 智志、佐粧 孝久、加藤 英幸、松木 圭介、赤木 龍一郎、村松 佑太、バンクス・スコット、高橋 和久、3D-2D registrationを用いた、早期変形性膝関節症における歩行、スクワット動作の三次元動態解析、第5回日本関節鏡、膝、スポーツ整形外科学会、2013年6月20日-22日、札幌

向山 俊輔、3D-2D registrationによる早期変形性膝関節症の三次元歩行動態解析、第1259回 千葉医学会整形外科例会、2012年12月2日-3日、千葉

向山 俊輔、山口 智志、加藤 英幸、中口 俊哉、松木 圭介、佐粧 孝久、赤木 龍一郎、村松 佑太、Scott Banks、高橋和久、3D-2D registrationを用いた歩行とスクワットにおける膝関節三次元動態の比較、第39回日本臨床バイオメカニクス学会 2012年11月9日-10日、千葉

S. Mukoyama, S. Yamaguchi, T. Sasho, N. Ikegawa, M. Saito, R. Akagi, Y. Muramatsu, T., Nakaguchi, H. Kato, S.A. Banks, K. Takahashi, Comparison of in vivo kinematics of the knee between gait and squat, 2012 World Congress on Osteoarthritis, 2012年4月26日- 29日, Barcelona

向山 俊輔、山口 智志、佐粧 孝久、齊藤 雅彦、池川 直志、赤木 龍一郎、村松 佑太、松木 圭介、高橋 和久、3D-2D registrationによる健常膝関節の3次元動態解析、第41回千葉スポーツ医学研究会、2012年01月28日、千葉

向山 俊輔、3D-2D registration による健常膝関節の3次元動態解析、第1229回 千葉医学会整形外科例会、2012年12月3日-4日、千葉

山口 智志 (YAMAGUCHI, Satoshi)  
千葉大学・医学部附属病院・助教  
研究者番号：30596953

## (2)研究協力者

佐粧 孝久 (SASHO, Takahisa)  
千葉大学・大学院医学研究院・准教授  
研究者番号：20312952

Scott Banks (BANKS, Scott)  
Associate Professor, Department of  
Mechanical and Aerospace Engineering,  
University of Florida

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者