

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 22 日現在

機関番号：30108

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26882034

研究課題名(和文)変形性膝関節症患者の膝関節に生じる力学的ストレス評価システムの開発と臨床応用

研究課題名(英文) Research and development of a measurement system for the mechanical stress of the knee in patients with osteoarthritis

研究代表者

井野 拓実 (INO, TAKUMI)

北海道科学大学・保健医療学部・助教

研究者番号：70736339

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：変形性膝関節症(以下、膝OA)の治療においては、膝関節に生じる力学的負荷をマネジメントすることが重要である。そのためには膝関節運動のバイオメカニクスを明らかにし、かつその評価手段を確立する必要がある。本研究は動作時(特に歩行時)の膝関節のバイオメカニクスを明らかにし、かつ膝関節に生じる力学的負荷を計測するシステムを開発することを目的とした。膝OA症例は歩行時、大きな膝内反運動と外部膝内反モーメント(膝内側の負荷)が生じていた。次にKINECTセンサーおよびWiiボードを用いて膝関節運動を簡便に計測するシステムを構築した。これにより膝関節運動をより簡便に、かつ客観的に評価するが可能となった。

研究成果の概要(英文)：The mechanical stress of the knee during ambulation has a profound influence on the treatment outcome for osteoarthritis (OA) at the knee. Therefore, it is important to clarify the knee joint biomechanics and evaluate the kinematics and kinetics of the knee. The purpose of this study was to determine the kinematics and kinetics of the knee and develop a measurement system for the mechanical stress of the knee. In this study OA knees showed increase in the varus angle and the external knee adduction moment during gait. In addition a measurement system for the mechanical stress of the knee was established using Kinect sensor and Wii balance board. Therefore, this system can provide an easy and objective evaluation for the mechanical stress of the knee in a clinical situation.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：運動分析 変形性膝関節症 リハビリテーション評価

1. 研究開始当初の背景

変形性膝関節症 (以下、膝 OA) (図 1) について、本邦で実施された世界最大規模の疫学研究 (Muraki S, 2009) に基づくと、X 線上の膝 OA を認める症例は 2400 万人、症状を有する症例は 820 万人と推計されている。本疾患においてこの大部分が保存治療の対象となる。膝 OA は年齢、性別、外傷、筋力低下など数多くの要因によって発症するが、その進行は膝関節に生じる力学的ストレスによって大きく左右される (Andriacchi TP, 2006)。すなわち膝 OA の保存治療においては膝関節に生じる力学的ストレスを減じることが重要である。一方、膝 OA の進行例に対しては、脛骨内反骨切術や人工膝関節置換術などの手術治療が選択され、近年、手術件数は増加の一途を辿っている。これらの症例においても長期予後は膝関節に生じる力学的ストレスの影響を受けることが示されており、術後のリハビリテーションにおいても力学的ストレスのマネジメントの重要性が近年注目されている。

一般に膝 OA が好発し悪化するのは膝関節の内側である。膝関節内側の力学的ストレスを推定する最も代表的な計測値は外部膝関節内反モーメント (以下、膝内反モーメント) (図 1) であり、これについて現在まで多くの研究がなされている (Reeves ND, 2011)。膝関節治療における杖の使用、装具・足底板の処方、そして歩行トレーニング等は膝内反モーメントを有意に減じることが示されている。しかし一般の診療所や病院などの臨床場面において膝内反モーメントを客観的に評価する手段は存在しない。膝内反モーメントを計測するためには高額な三次元動作解析装置を購入するか、あるいは患者を特定の研究施設に招いて計測する必要があり何れも現実的な手段ではない。

近年、家庭用ゲーム機として開発された KINECT センサは近赤外線を利用した距離画像センサと映像センサを搭載し人間の関節位置座標を算出することが可能である。またバランス Wii ボードは歪みゲージ式フォースセンサが 4 つ搭載されており、床反力の垂直成分およびその作用点位置が計測できる。この精度と信頼性については任天堂が示す対象体重 136kg 以下において保証されている (Clark RA, 2010)。これらは何れもパソコンとの接続が確立されている。近年、各々のセンサ単独でのヒトの運動分析分野への応用実績が散見されるが、これらのセンサの組み合わせによるシステム開発は見当たらない。両者を用いることにより膝内反モーメントを計測することが可能となれば、種々の保存治療の効果判定や歩行トレーニングにおいて有用な評価手段となる事が期待される。

2008 年に発表された日本整形外科学会診療ガイドラインにおいて膝 OA の保存治療、特に運動療法の推奨グレードは A である。し

かし同時にどのような運動療法のプログラムが最適かについては不明とされている。また米国リウマチ学会や Nature 誌におけるレビューにおいても種々の保存治療が膝内反モーメントを減じるという合意は形成されているが、最適な保存治療や効果的なトレーニング方法については課題とされている (Reeves ND, 2011)。したがって臨床場面で現実的に計測可能な本システムの開発は有用と考えられる。



図 1. 変形性膝関節症および膝内反モーメント

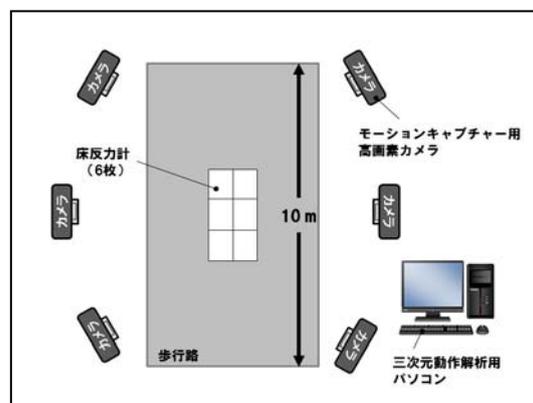


図 2. 一般的な三次元動作解析装置

2. 研究の目的

本研究の目的を以下に示す。第一に基礎データ構築のため三次元動作解析装置を用いて健康成人における歩行時の膝関節運動を計測、解析する。第二に膝 OA 症例における運動分析を同様に実施し、その異常運動および力学的ストレスを明らかにする。第三に臨床場面にて膝関節の力学的負荷を計測するため、家庭用ゲーム機として開発された KINECT センサおよび Wii ボードを用いて膝関節運動を簡便に計測するシステムを構築する。

### 3. 研究の方法

(1) 三次元動作解析装置を用いて健常成人 21 例 42 膝の歩行時の膝関節運動 (kinematics および kinetics) を計測、算出した。光学的モーションキャプチャ技術により体表に設置した光学的反射マーカーを指標として膝関節運動を算出した。なお解析方法はポイントクラスター法とした (Andriacchi TP, 1998) (図 3)。また床反力計データより逆動力学計算にて関節モーメントを推定した。解析したパラメータは、膝関節の屈伸角度、膝関節内外反角度、膝内反モーメントとした。一足のみが一枚の床反力計に接地した試行を成功とし、3 回の成功を完了するまで休憩を挟みつつ、歩行分析を実施した。成功試行 3 回の平均値を算出し、一歩行周期を 100% として規格化シグラフ化した (図 4)。

(2) 前述した (1) と同様の方法にて、膝 OA 症例 15 例 15 膝の歩行分析を実施した。健常成人と同様に、膝関節の屈伸角度、膝関節内外反角度、膝内反モーメントを算出した (図 4)。

(3) 臨床場面において膝関節のバイオメカニクス指標を計測できるシステムの開発を行った。家庭用ゲーム機の KINECT センサより体重心位置および関節中心位置を、Wii バランスボードより足圧中心位置および床反力鉛直成分を抽出した。これらを用いて膝関節の屈伸角度、内外反角度および逆動力学計算により膝内反モーメントを推定した。これにより、従来臨床場面では計測することが困難であった、膝関節のバイオメカニクス指標を評価することが可能となり、診療の一助とすることができる。またこれらの機器は三次元動作解析装置などの計測機器と比較すると極めて安価に購入可能である。また治療対象者に対し、運動の変化を視覚的にフィードバックすることが可能となった (図 5)。



図 3. ポイントクラスター法：膝関節の 6 自由度運動を計測可能 (Andriacchi TP, 1998)

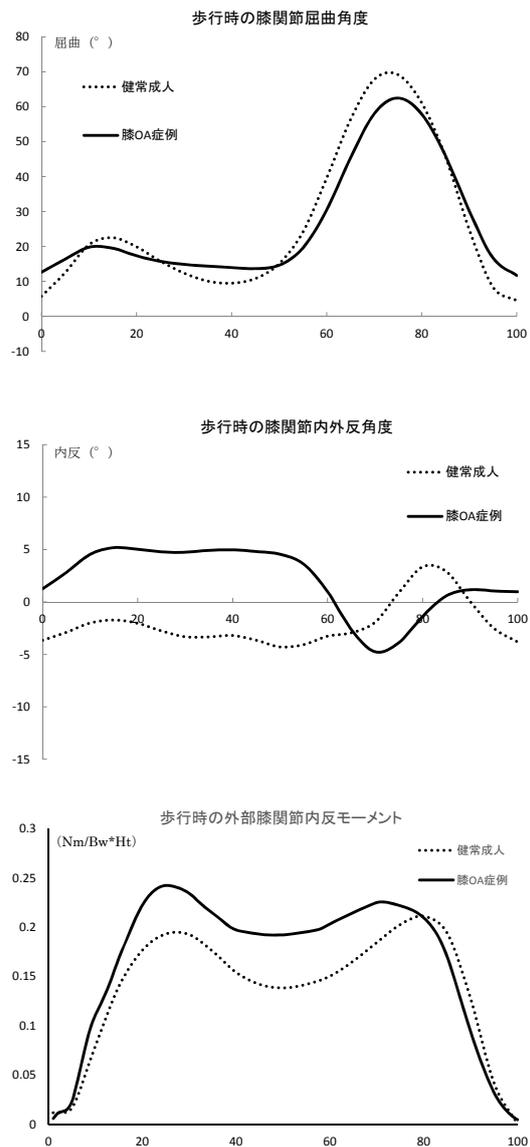
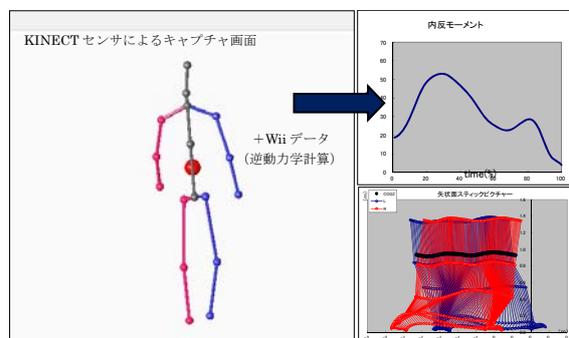


図 4. 一歩行周期における膝関節の屈伸角度 (上)、内外反角度 (中)、膝内反モーメント (下)。点線：健常成人，実線：膝 OA 症例



5. KINECT センサより関節の位置座標および体重心位置を計算 (左)。Wii バランスボードより足圧中心位置および床反力データを取得し、逆動力学計算により膝内反モーメントを算出 (右上)。また矢状面における膝関節屈伸のスティックピクチャを示す (右下)。

#### 4. 研究成果

三次元動作解析装置を用いた歩行分析から、健常成人と膝 OA 症例は歩行時、関節動態および関節に生じる力学的負荷が異なることが明らかとなった(図4)。

健常成人は歩行時、立脚期に約 22.8° (初期接地からの変化量: 約 17.0°)、遊脚期に約 69.7° 膝関節を屈曲していた。これにより下肢接地時には床からの衝撃を吸収し、振り出し時には床面とのクリアランスを確保できているものと考えられた。また歩行時膝関節はほぼ軽度外反位で一定しており、内外反方向には大きな変位を生じないことが明らかとなった。これに対して、膝 OA 症例は歩行時、立脚期に約 19.8° (初期接地からの変化量: 約 7.2°)、遊脚期に約 62.5° 膝関節が屈曲していた。これは健常成人と比較して有意に小さな値であった(図4)。このことから、歩行時膝 OA 症例は膝関節の屈曲運動が障害されていることが推察され、床からの衝撃吸収能力の低下や下肢振り出し時の床面とのクリアランスの低下が考えられた。これらは関節軟骨の磨耗や変性を主病変とする膝 OA にとって悪化要因になると考えられた。またクリアランスの低下は、躓きによる転倒リスクとなる可能性が考えられ、これらも膝 OA 症例にとっては無視できない問題となると考えられた。加えて膝 OA 症例は立脚期の急激な膝内反運動および大きな膝内反モーメントが認められ(図4)、これらは膝 OA の好発部位である内側の負荷を高める有害な運動と考えられた。膝 OA の治療においてはこれらの運動学、運動力学的指標への介入および評価が必須であると考えられた。

近年、膝 OA の治療、特に運動療法に関して、単なる単関節運動の筋力エクササイズ、膝関節周囲筋のストレッチング、有酸素運動等の処方ではその効果に限界があることが示されている(Lim BW, 2008; Bennell KL, 2015)。歩き方や動作方法を改善することの重要性が指摘されており、本研究結果はこれらへの介入および評価として有用な知見であると考えられる。

本研究で開発されたシステムは、臨床場面で膝関節の運動面における変化を判断する資料を提供できる。本システムの特徴として、角度変化(姿勢の変化)のみならず、従来臨床場面では計測し得なかった動作時の膝関節に生じる力学的負荷を推定できる点が挙げられる。これらは今後の運動療法発展の一助になるものと期待できる。また地域の健康教室などの健康増進や関節疾患の予防プログラムなどにおいて、健診機器として活用できる可能性がある。

将来展望としては、本システムと連動したゲームソフトの開発や、本システムを活用した地域での膝痛予防プログラムの発展などが期待でき、今後の課題としていきたいと考えている。

#### 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3件)

- ① Takumi Ino, Yasumitsu Ohkoshi, Tatsunori Maeda, Kensaku Kawakami, Shoji Suzuki, Harukazu Tohyama, Side-to-side differences of three dimensional knee kinematics during walking by normal subjects, The Journal of Physical Therapy Science, 査読有, (27), 2015, 1803-1807.
- ② 井野拓実, 佐藤洋一郎, 山中正紀, 【特集】変形性膝関節症の理学療法—膝関節内転モーメントに着目して「膝関節内転モーメントに着目した変形性膝関節症の運動療法—姿勢・歩行トレーニングを中心に」、理学療法(メディカルプレス)、査読無, 32巻, 2015, 1109-1120.
- ③ 井野拓実, 川上健作, 大越康充, 小竹諭, 大角侑平, 上原桐乃, 吉田俊教, 前田龍智, 鈴木航, 鈴木昭二, 健常膝関節における歩行時の回旋中心—medial pivot vs lateral pivot—, 北海道整形災害外科学会雑誌, 査読有, 56巻, 2014, 38-44.

[学会発表] (計6件)

- ① Jun Inagaki, Hirokazu Haruna, Keisuke Kon, Shingo Shimizu, Takumi Ino, Shiho Hosoya, A Method for Measuring the Center of Mass of the Human Body Using Kinect Sensors, 5th Asia-Oceanian Conference of Physical & Rehabilitation, 2016/2/18-22, Cebu, Philippines.
- ② Takumi Ino, Harukazu Tohyama, Kensaku Kawakami, Toshinori Yoshida, Yuhei Ohsumi, Satoshi Kotake, Sho'ji Suzuki, Tatsunori Maeda, Kou Suzuki, Yasumitsu Ohkoshi, The Influence of Bony Landmark Identification on Knee Kinematics Using Point Cluster Technique: An In Vivo 3D-CT Study, Orthopaedic Research Society 2015 Annual Meeting, 2015/3/28-31, Las Vegas, US.
- ③ Takumi Ino, Kensaku Kawakami, Satoshi Kotake, Yuuhei Ohsumi, Toshinori Yoshida, Sho'ji Suzuki, Tatsunori Maeda, Kou Suzuki, Yasumitsu Ohkoshi, The Center of Axial Rotation of the Femorotibial Joint in Osteoarthritic Knees - Medial Pivot vs Lateral Pivot -, Orthopaedic Research Society 2015 Annual Meeting, 2015/3/28-31, Las Vegas, US.
- ④ 春名弘一, 稲垣潤, 昆恵介, 清水新悟, 棚橋嘉美, 細谷志帆, 鴨志田麻実子, 井

野拓実、加藤士雄、佐藤洋一郎、歩行中の力学的エネルギーにおける臨床指向型評価システムの開発研究～第2報:新旧 Kinect センサの同時計測による精度検証～、第2回日本支援工学理学療法学会大会、2015/12/12、「首都大学東京 講堂・教室 (東京)」

- ⑤ 井野拓実、川上健作、小竹諭、大角侑平、吉田俊教、鈴木昭二、前田龍智、鈴木航、大越康充、変形性関節症膝の歩行解析－膝関節の回旋中心の検討－、第41回日本臨床バイオメカニクス学会、2014/11/21、「奈良県新公会堂 (奈良県)」
- ⑥ 春名弘一、稲垣潤、昆恵介、清水新悟、井野拓実、難波志帆、棚橋嘉美、加藤士雄、鴨志田麻美子、kinect デバイスを用いた身体合成重心の力学的エネルギー変換効率の算出、第30回日本義肢装具学会学会大会、2014/10/18-19、「岡山コンベンションセンター (ママカリフォーラム) (岡山県)」

〔図書〕 (計1件)

- ① 編集者：齊藤 秀之、加藤 浩、山田 英司 / 分担執筆：井野 拓実、文光堂、臨床思考を踏まえる理学療法プラクティス 極める変形性膝関節症の理学療法、2014、197-209

〔その他〕

社会貢献など

- ① 井野拓実、(市民公開講座) 「膝痛教室 ～家でもできるリハビリテーション～」、北海道科学大学公開講座 (札幌市)、2016/1
- ② 井野拓実、(セミナー) ～動作解析最前線～ 変形性膝関節症のバイオメカニクス、十勝スポーツ+理学療法交流会 (帯広市)、2016/1
- ③ 井野拓実、(セミナー) 変形性膝関節症のバイオメカニクス、北都保健福祉専門学校 (旭川市)、2015/9
- ④ 井野拓実、(セミナー) 膝のバイオメカニクスー変形性膝関節症の病態運動学を中心にー、北海道理学療法士会 日胆支部平成26年度第5回研修会 (室蘭市)、2015/3

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

井野 拓実 (Ino Takumi)

北海道科学大学・保健医療学部・理学療法学科・助教

研究者番号：70736339

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし