内側型変形性膝関節症における歩行立脚時の 関節角度と大腿・下腿回旋運動の評価

Analysis of Joint Angle and Upper and Lower Thigh Rotation Movements in the Stance Phase of Walking by Subjects with Medial Knee Osteoarthritis

徳田 一貫¹⁾ 新小田 幸一²⁾ 羽田 清貴³⁾ 合津 卓朗¹⁾
田中 泰山³⁾ 吉田 研吾³⁾ 木藤 伸宏⁴⁾ 菅川 祥枝⁵⁾
本山 達男⁶⁾ 川畠 真人⁶⁾ 阿南 雅也²⁾

KAZUKI TOKUDA, RPT, MS¹⁾, KOICHI SHINKODA, RPT, PhD²⁾, KIYOTAKA HADA, RPT³⁾, TAKURO AIDU, RPT¹⁾,
TAIZAN TANAKA, RPT³⁾, KENGO YOSHIDA, RPT³⁾, NOBUHIRO KITO, RPT, PhD⁴⁾, SACHIE SUGAWA, RPT⁵⁾,
TATSUO MOTOYAMA, MD⁶⁾, MAHITO KAWASHIMA, MD, PhD⁶⁾, MASAYA ANAN, RPT, PhD²⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation, Kawashima Clinic: 2-3, 11-1, Miyabu, Nakatsu-shi, Oita 871-0012, Japan.
TEL+81 97-924-9855 E-mail: ikkan0614@yahoo.co.jp

²⁾ Biomechanics Laboratory, Applied Life Sciences, Hiroshima University Institute of Biomedical & Health Sciences

³⁾ Department of Rehabilitation, Kawashima Orthopaedic Hospital

⁴⁾ Faculty of Health Sciences, Hiroshima International University

⁵⁾ Department of Rehabilitation, Hakuzyuji Hospital

⁶⁾ Department of Orthopaedic surgery, Kawashima Orthopaedic Hospital

Rigakuryoho Kagaku 29(3): 437-442, 2014. Submitted Dec. 11, 2013. Accepted Jan. 23, 2014.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to clarify the relationship between lateral thrust and rotation of the knee during walking by people with knee osteoarthritis. [Subjects] Thirteen knee osteoarthritis patients and eight control subjects participated in this study. [Methods] Kinematic data during the stance phase were collected using a high speed camera and tri-axial angular velocimeters. [Results] The external rotation angular velocity of the lower thigh of mild knee osteoarthritis patients was more significantly decreased than that of the control subjects. Angles of knee varus, inclination of the lower thigh and acromion during walking by severe knee osteoarthritis patients were more significantly increased than those of the other groups. Lateral thrust was related to the external rotation angular velocity the lower thigh during walking. [Conclusion] Our results suggest that knee osteoarthritis subjects have decreased angular velocity of external rotation of the lower thigh during walking, and that lateral thrust increased in accordance with the stage of pathology of knee osteoarthritis.

Key words: knee osteoarthritis, angular velocities of the upper and lower leg, joint angles

要旨:〔目的〕変形性膝関節症の lateral thrust と膝関節の回旋の関係を明らかにすることである。〔対象〕対照群 8 人、膝 OA 群 13 人であった。〔方法〕ハイスピードカメラを用いて歩行立脚時の関節角度を解析し、3 軸角速度計を用いて大腿と下腿の回旋角速度を解析した。〔結果〕対照群に比し、軽度膝 OA 群は荷重応答期から立脚中期の下腿の外旋角速度が有意に小さく、重度膝 OA 群は立脚期の両肩峰傾斜、下腿傾斜、膝関節内反角度が有意に大きかった。膝 OA 群の膝関節内反角度は、荷重応答期から立脚中期の下腿の外旋角速度が関連要因であった。〔結語〕膝 OA の初期は荷重応答期から立脚中期の大腿部に対する下腿部の適合性が低下し、膝 OA の重症化に伴い lateral thrust へと繋がる事が示唆された。

キーワード: 変形性膝関節症、大腿・下腿回旋角速度、関節角度

¹⁾ 社会医療法人玄真堂 かわしまクリニック リハビリテーション科: 大分県中津市宮夫 11-1 (〒871-0012) TEL 0979-24-9855

²⁾ 広島大学大学院 医歯薬保健学研究院 応用生命科学部門 生体運動・動作解析学研究室

³⁾ 社会医療法人玄真堂 川畠整形外科病院 リハビリテーション科

⁴⁾ 広島国際大学 保健医療学部 総合リハビリテーション学科 理学療法学専攻

⁵⁾ 社会医療法人白十字会 白十字病院 リハビリテーション科

⁶⁾ 社会医療法人玄真堂 川畠整形外科病院 整形外科

I. はじめに

変形性膝関節症 (knee osteoarthritis: 以下, 膝 OA) は, 関節軟骨, 半月板, 靱帯など, 膝関節を構成する組織の退行変性を基盤に発症する疾患であり^{1,2)}, 膝関節の前額面での変形の合併による関節面への部分的過重負荷の増大が, その病態の増悪を助長する²⁾. また, 膝 OA の発症および悪化因子について諸家の報告があり^{1,3)}, 加齢, 女性, 膝の外傷, 肥満に加えて lateral thrust (立脚初期に膝が急激に外側方向に動揺する現象) と内反変形などが挙げられる⁴⁾. 関節軟骨の破壊は, 圧迫や剪断力を主因とすることから, 動的な運動解析が重要⁵⁾であり, 日々繰り返される姿勢・動作の力学的ストレスが発症の一要因となることが考えられる. 膝 OA における歩行時の膝関節の回旋評価において, 3 軸角速度計を用いた研究が報告されている⁶⁾. 3 軸角速度計は慣性センサーとも呼ばれ, 角速度をもって回転する座標系から直線運動をする物体を電氣的に計測することで角速度が測定できる⁷⁾. また, 3 軸角速度計は小型化に適しており, 低消費電力で安価である⁷⁾. よって臨床上客観的に回旋の運動学的特徴を評価するのに有効であると考えられる. しかし, これらの先行研究では運動学的特徴としては膝関節の回旋方向のみに着目しており, 筆者らが渉猟した限り, 膝 OA の歩行時の lateral thrust と膝関節における回旋異常の関係を検討した報告はない.

本研究は, 3 軸角速度計とハイスピードカメラを使用して, 膝 OA 患者の歩行立脚期における大腿部および下腿部の回旋角速度と, 前額面における身体各体節および関節角度変化を捉えて立脚期の膝関節内反角度の増加に伴って生じる膝関節の回旋異常を評価することを目的として行った. その結果, 以下の知見を得たので報告する.

II. 対象と方法

1. 対象

対象は当院にて片側性または両側性の内側型膝 OA と診断された女性 13 人 (61.0 ± 8.9 歳) を膝 OA 群とした. この膝 OA 群の基準としては, 膝関節内側に 1 ヶ月以上持続する疼痛を有し, 医師の診断により膝 OA と診断され, X 線画像にて膝関節内側関節裂隙の狭小化や骨棘形成が認められた日常生活において独歩可能な者とした. 膝 OA 群の重症度の判定は両脚立位時の膝関節の前後 X 線写真の読影により, Kellgren-Lawrence 分類⁸⁾ (以下 K/L 分類) を用いて行った. その結果, 膝 OA 群の内訳は軽度膝 OA 群 6 人 (grade I: 2 人, grade II: 4 人), 重度膝 OA 群 7 人 (grade III: 3 人, grade IV: 4 人) であった (表 1). また, 歩行機能に異常がなく, 日常生活で膝関節痛を有さない健常女性 8 人 (50.3 ± 2.4 歳) を対照群とした (表 1).

2. 方法

課題動作は至適速度での自由歩行で, 計測は数回練習後 3 回行った. なお, 歩行中は前方を見るように指示し, 歩行中の両上肢の運動は自由とした. 計測肢は, 対照群では右側, 膝 OA 群は患側肢とし, 両膝 OA の場合は OA の重症な下肢を選択し, 5 歩目の角速度を解析対象とした. 大腿および下腿の回旋角速度は, 3 軸角速度計 (マイクロストーン社製 MP-G3-01A) を大腿部と下腿部の各身体質量中心点⁹⁾の外側部である大腿外側部 (股関節中心から膝裂隙の距離の近位 57%) と下腿外側部 (裂隙から外果の距離の近位 57%) に装着し, ベルトアタッチメントを用いマジックテープで固定した. また, 被験者の立脚初期, 荷重応答期, 立脚期を同定するため, フットスイッチを踵, 小趾球, 母趾球に貼付した.

3 軸角速度計からの信号は信号処理ボックスを介して,

表 1 対象者の身体的特徴

	対照群 (n=8)	軽度膝 OA 群 (n=6)	重度膝 OA 群 (n=7)
年齢 [歳]	$50.3 \pm 2.4^*$	61.5 ± 11.4	60.6 ± 7.1
性別	女: 8	女: 6	女: 7
身長 [cm]	155.4 ± 4.8	156.2 ± 4.4	151.0 ± 4.3
体重 [kg]	54.6 ± 4.1	56.4 ± 5.1	64.5 ± 9.5
BMI [kg/m ²]	22.7 ± 4.1	23.2 ± 2.8	28.9 ± 3.7
測定肢	右: 8	右: 2 左: 4	右: 4 左: 3
K/L 分類 [grade]		grade1 (n=2) grade2 (n=4)	grade3 (n=3) grade4 (n=4)
FTA [°]		177.5 ± 1.5	$184.9 \pm 3.9^{**}$

平均値 $\pm$ 標準偏差.

BMI: body mass index, FTA: femorotibial angle.

*: VS 軽度膝 OA 群 ($p < 0.05$), VS 重度膝 OA 群 ($p < 0.05$).

** : VS 軽度膝 OA 群 ($p < 0.01$).

またフットスイッチからの信号は Power Lab (AD Instrument) を介して、サンプリング周波数 100Hz にてパーソナルコンピュータに取り込んだ。この信号を基に解析ソフトウェア Lab Chart7 (AD Instrument) により大腿および下腿の回旋角速度を解析した。歩行の様子はハイスピードカメラ (カシオ社製 FC150) を 1 台用いて、歩行立脚時の前額面から 120 frame/s にて撮影した。身体に直径 30 mm の蛍光マーカーを貼付し、各体節の動きを計測した。マーカーの貼付部位は臨床歩行分析研究会が推奨する方法¹⁰⁾に準拠し、左右の肩峰、最下肋骨下縁、上前腸骨棘、股関節 (大転子中央と上前腸骨棘を結ぶ直線上で大転子から 1/3 の点)、膝関節 (大腿骨遠位部最大左右径の高さで矢状面内の膝蓋骨を除いた幅の中央)、足関節 (外果中央)、第 5 中足骨骨頭とした。記録した画像から得られた位置データより、画像解析ソフト ImageJ 1.37v (日本語版) を使用し、各マーカーの 2 次元座標を算出した。得られた 2 次元座標から、表計算ソフトウェア Microsoft Excel 2007 (マイクロソフト社製) を用いて、前額面における歩行の初期接地から立脚中期の身体各体節および関節角度変化を解析した。

角度変化の基準は、立脚側傾斜を「+」、遊脚側傾斜を「-」で示した。肩峰傾斜角度は左右肩峰を結ぶ直線と立脚側肩峰を通る床面との平行線とのなす角度とした。上部体幹側屈角度は左右肩峰の midpoint と左右最下肋骨の midpoint を結ぶ直線と左右大転子の midpoint を結ぶ直線のなす角度とした。体幹側屈角度は左右肩峰の midpoint と左右股関節の midpoint を結ぶ直線と左右股関節の midpoint を通る鉛直線とのなす角度とした。骨盤傾斜角度は左右上前腸骨棘を結ぶ直線と立脚側上前腸骨棘を通る床面との平行線のなす角度とした。股関節外転角度は左右上前腸骨棘を結ぶ直線と立脚側下肢の股関節と膝関節を結ぶ直線のなす角度とした。膝関節内反角度は股関節と膝関節を結ぶ直線と膝関節と足関節を結ぶ直線のなす角度とした。大腿傾斜角度は股関節と膝関節を結ぶ直線と膝関節を通る床面に対する鉛直線のなす角度とした。

下腿傾斜角度は膝関節と外果を結ぶ直線と外果を通る床面に対する鉛直線のなす角度とした。運動学的データは、一動作に要する時間は被験者ごとに若干異なるため再分割法によって直線補間を行い、動作時間の 1% ごとのデータをそれぞれ算出した。また、角速度データは対 1 歩行立脚期時間 (% gait stance : % GS) に換算した。対照群と膝 OA 群の立脚期の大腿部、下腿部の角速度変化 (+ : 外旋, - : 内旋) の 1 例を示す (図 1)。大腿部および下腿部の回旋角速度のパラメータは、立脚初期後に大腿部で最初におこる外旋ピークを大腿外旋 1、下腿部で最初におこる内旋ピークを下腿内旋 1 とし、大腿と下腿それぞれで起こる回旋ピーク値を各パラメータについて、歩行の 3 回分のデータの平均値を被験者の代表値 (平均 ± 標準偏差) として採用した。統計学的解析は各群を比較するために、統計解析ソフト Dr.SPSS II for Windows (エス・ピー・エス・エス社製) を用いた。年齢、身長、体重、BMI、歩行の時間因子は、対照群、軽度膝 OA 群、重度膝 OA 群を一元配置分散分析で比較し、正規性が認められる場合は多重比較法で Tukey の方法を用い、その他は Dunnett の方法を用いた。角速度計および身体各体節および関節角度は年齢の交絡因子を考慮し、年齢を共変量とした共分散分析を行って比較し、多重比較法では Bonferroni の方法を用いた。

また、膝 OA 群の歩行時の膝関節内反角度変化が、大腿および下腿の回旋角速度に及ぼす影響の要因分析をするため、Stepwise の回帰分析を行った。なお、危険率は 5% に設定した。本研究はヘルシンキ宣言に沿った研究であり、研究の実施に先立ち当院の倫理委員会の承認を得て実施した。また、対象には研究の意義、目的について十分に説明し、口頭および文書による同意を得た後に行った。

III. 結果

肩峰傾斜角度は、重度膝 OA 群が軽度膝 OA 群よりも

表 2 身体各関節角度変化

	対照群 (n=8)	軽度膝 OA 群 (n=6)	重度膝 OA 群 (n=7)
肩峰傾斜 [°]	0.8 ± 0.5	-0.4 ± 0.5	2.4 ± 0.5*
上部体幹側屈 [°]	-0.5 ± 0.9	-1.9 ± 1.0	-0.1 ± 0.9
体幹側屈 [°]	1.6 ± 0.5	1.2 ± 0.5	2.8 ± 0.5
骨盤傾斜 [°]	0.3 ± 0.7	1.1 ± 0.8	1.4 ± 0.7
股関節外転 [°]	2.6 ± 1.1	-0.5 ± 1.2	1.5 ± 1.1
膝関節内反 [°]	0.1 ± 0.9	0.6 ± 1.0	4.1 ± 0.9**
大腿傾斜 [°]	-2.5 ± 0.6	-3.4 ± 0.7	-1.1 ± 0.6
下腿傾斜 [°]	2.7 ± 1.5	3.9 ± 1.6	5.2 ± 0.5#

平均値 ± 標準偏差。

*: VS 軽度膝 OA 群 (p<0.01), **: VS 対照群 (p<0.05), 軽度膝 OA 群 (p<0.05)。

: VS 対照群 (p<0.05)。

図1 立脚期の大腿、下腿の回旋角速度

(%GS:立脚期を100%として換算,+:外旋,-:内旋)

(a):大腿回旋角速度(対照群)

(b):下腿回旋角速度(対照群)

(c):大腿回旋角速度(膝OA群)

(d):下腿回旋角速度(膝OA群)

有意に大きかった。膝関節内反角度は、重度膝OA群が対照群と軽度膝OA群より有意に大きかった。下腿傾斜角度は、重度膝OA群が対照群よりも有意に大きかった(表2)。

回旋角速度のピーク値は大腿部ではいずれの群間の比較でも有意差が認められなかったが、下腿部では荷重応答期から立脚中期に相当する下腿外旋2のピーク値は、軽度膝OA群が対照群と比較して有意に小さかった。大腿部は、重度膝OA群が軽度膝OA群よりも大腿内旋1、大腿外旋2、大腿外旋3が有意に早期に出現していた。下腿部は、重度膝OA群が対照群よりも下腿内旋2、下腿外旋3が有意に早期に出現していた(表3)。

膝OA群の歩行時の膝関節内反角度変化は、下腿外旋2の回旋角速度が影響を与える要因であった($R^2=0.39$,

$p<0.05$)(表4)。

IV. 考察

菅川ら⁶⁾は、歩行立脚時の大腿部および下腿部の回旋の運動学的解析について、健常者と比較して膝OAは立脚中期の大腿外旋角速度、下腿外旋角速度は有意に小さく、膝OAの変形に伴い骨の形態的变化や半月板の変性、骨性支持による安定性獲得により終末強制外旋運動へと破綻すると報告している。本研究では、対照群と比較して軽度膝OA群は、荷重応答期から立脚中期に相当する下腿外旋角速度が有意に小さかった。これらのことから、初期膝OAは荷重応答期から立脚中期に必要なとされる膝関節伸展運動時に、大腿部に対する下腿部の適合性が低下していることが考えられた。また立脚中期では、膝関節の能動的な伸展運動が起こるとともに下腿の外旋によって遊びが生じ、この時期に下腿外旋により十字靱帯の交差が解除される¹¹⁾。しかし、軽度膝OA群での下腿の外旋角速度の低下は終末強制外旋運動への破綻と、脛骨および大腿骨の軟骨に異常な圧縮ストレスによる軟骨摩耗に繋がる恐れがあると示唆された。

Changら¹²⁾は、膝OAでは内反アライメントを有する膝関節でlateral thrustが増加しており、lateral thrustを有する膝関節では外部膝関節内反モーメントがより増加していると報告している。これから、視認できるlateral thrustは外部膝関節内反モーメントを増加させる可能性があり、膝関節内側コンパートメントの病態進行に関与する危険要因であることが示唆される。本研究では、対照群と比較して膝OAの重症化に伴い歩行時の下腿外側傾斜角度および膝関節内反角度が増加し、lateral thrustによる対応が膝関節内側コンパートメントの病態進行に関与する恐れが示された。膝OA患者の歩行戦略では、外部膝関節内反モーメントを減少させる補償戦略が示されている¹⁴⁻²¹⁾。その補償戦略として、歩行速度・歩行率・歩幅の減少¹⁴⁻¹⁸⁾、体幹傾斜^{19,20)}、足部のToe-out肢位²¹⁾などが確認されている。本研究では、歩行立脚時の肩峰傾斜角度は、重度膝OA群が軽度膝OA群よりも有意に大きく、体幹の立脚肢傾斜^{19,20)}により外部膝関節内反モーメントを減少させていることが示唆される。

Naganoら²²⁾は、膝OAの初期ステージの患者は大腿骨と脛骨の軸上の回転移動が減少し、一方で重度のステージの患者は膝関節内反が増加したと報告している。本研究では、対照群と比較して軽度膝OA群では下腿の外旋角速度が小さく、重度膝OA群では下腿外側傾斜角度と膝関節内反角度が大きかった。また、膝OA群の膝関節内反角度変化は荷重応答期から立脚中期に相当する下腿外旋2の回旋角速度が影響を与える要因であった。以上から、膝OAの初期では下腿外旋の角速度が低下し、

表3 各群の大腿・下腿のパラメーターの比較

	対照群 (n=8)	軽度膝 OA 群 (n=6)	重度膝 OA 群 (n=7)
大腿外旋 1 [°/sec]	73.8 ± 25.1	36.5 ± 26.7	22.1 ± 24.4
% GS	2.1 ± 1.9	3.8 ± 2.4	2.7 ± 1.1
大腿内旋 1 [°/sec]	-105.6 ± 32.8	-42.6 ± 34.9	-53.7 ± 31.8
% GS	8.4 ± 1.2	10.9 ± 1.2	6.4 ± 1.1*
大腿外旋 2 [°/sec]	82.9 ± 23.4	83.3 ± 24.9	82.7 ± 22.8
% GS	19.6 ± 1.5	21.4 ± 1.6	14.1 ± 1.5**
大腿内旋 2 [°/sec]	-50.4 ± 14.3	-52.2 ± 15.2	-28.1 ± 13.9
% GS	33.6 ± 3.3	33.2 ± 3.5	24.0 ± 3.2
大腿外旋 3 [°/sec]	62.9 ± 11.1	42.9 ± 11.8	53.6 ± 10.8
% GS	47.9 ± 3.0	46.2 ± 3.2	33.9 ± 2.9***
下腿内旋 1 [°/sec]	-138.3 ± 43.1	-68.1 ± 45.9	-141.5 ± 41.9
% GS	3.1 ± 0.6	3.4 ± 0.6	3.6 ± 0.6
下腿外旋 1 [°/sec]	164.4 ± 48.5	133.6 ± 51.6	94.1 ± 47.1
% GS	7.4 ± 0.9	6.5 ± 1.0	6.2 ± 0.9
下腿内旋 2 [°/sec]	-266.5 ± 48.2	-95.3 ± 51.3	-106.7 ± 46.8
% GS	11.7 ± 1.6	12.9 ± 1.7	9.8 ± 1.5
下腿外旋 2 [°/sec]	138.5 ± 20.3	44.0 ± 21.6 #	83.7 ± 19.7
% GS	22.2 ± 2.4	19.6 ± 2.6	17.0 ± 2.4
下腿内旋 3 [°/sec]	-19.4 ± 9.2	-27.7 ± 9.8	-17.2 ± 8.9
% GS	36.5 ± 2.6	27.6 ± 2.8	24.2 ± 2.6****
下腿外旋 3 [°/sec]	52.2 ± 13.4	28.9 ± 14.3	57.3 ± 13.0
% GS	45.3 ± 3.0	40.2 ± 3.2	32.8 ± 2.9*****

(上段：回旋角速度，下段：% GS)，平均値 ± 標準偏差。

*: VS 軽度膝 OA 群 (p<0.01), **: VS 軽度膝 OA 群 (p<0.01), ***: VS 軽度膝 OA 群 (p<0.05), ****: VS 対照群 (p<0.05), *****: VS 対照群 (p<0.05), #: VS 対照群 (p<0.05)。

表4 歩行時の膝関節内反角度変化に影響を与える回旋角速度の要因

	目的変数：膝関節内反角度		R ² =0.39, p<0.05	
	非標準化係数		標準化係数	有意確率
	B	標準誤差	β	
(定数)	-1.38	1.61		0.41
下腿外旋 2	0.06	0.02	0.63	0.02

膝 OA の重症化に伴い下腿外側傾斜の運動戦略へと変容し、立脚期に出現する病態運動で特徴的な膝関節内反角度が増加する lateral thrust へと繋がることから推察される。また、重度膝 OA 群では、大腿および下腿の内旋と外旋の % GS のタイミングが有意に早期に出現していた。これは、膝 OA の重症化に伴い関節の弛緩性¹³⁾、関節の安定性低下¹³⁾に伴い、歩行時荷重応答期や単脚支持期の間、筋の共同収縮²³⁾により剛性を高めるため、適切なタイミングで関節を制御することができないためであると推察された。

本研究から、膝 OA の重症化に伴い歩行時の lateral thrust が増加することが示唆された。立脚中期の lateral thrust を軽減するためには、膝 OA の初期段階から荷重

下で適切な下腿外旋させる運動制御を誘導し、正常な screw home movement を引き出すことが重要であることが示唆された。

今後の課題としては、本研究で得られた運動学的特徴の明確な原因の追求までは至っていない。そのため、動作時の運動力学的データや筋活動、筋力、関節可動域、関節弛緩性との関連性を明らかにして膝 OA の発症および進行に繋がる要因を特定し、根拠に基づく理学療法アプローチを提案する必要がある。

謝辞 本研究を行うにあたってご協力していただきました膝 OA の方々、社会医療法人玄真堂川島整形外科病院のスタッフの皆様に深謝いたします。また、3 軸角速度

計の解析にあたりご指導いただいたマイクロストーン(株)岡田恵也様に深謝いたします。本研究に対し助成(平成22年度 理学療法に関わる研究助成 受付番号13)を賜りました日本理学療法士協会に深謝いたします。

引用文献

- 1) 大森 豪, 古賀良生: 変形性膝関節症の発症および悪化因子. 総合リハ, 2001, 29(3): 221-225.
- 2) 齋藤知行, 腰野富久, 岡本連三: 変形性膝関節症の疼痛発生メカニズム. 関節外科, 2002, 21(2): 23-30.
- 3) Yoshimura N, Nishioka S, Hori N, et al.: Risk factors for knee osteoarthritis in Japanese women: heavy weight, previous joint injuries, and occupational activities. J Rheumatol. 2004, 31(1): 157-162.
- 4) 緒方公介, 野見山宏, 安永雅克: 加速度計を用いた膝の歩行時側方動揺性 (lateral thrust) の評価法. 関節外科, 1997, 16(3): 72-77.
- 5) 古賀良生, 大森 豪, 鈴木禎宏・他: 変形性膝関節症の運動解析. 関節外科, 1997, 16(3): 79-85.
- 6) 菅川祥枝, 木藤伸宏, 島澤真一・他: 内側型変形性膝関節症における歩行時大腿・下腿回旋運動の解析. 理学療法学, 2004, 31(7): 412-419.
- 7) 江原義弘, 山本澄子: 臨床歩行計測入門. 医歯薬出版, 東京, 2008, pp79-84.
- 8) Kellgren JH, Lawrence JS: Radiological assessment of osteoarthritis. Ann Rheum Dis, 1957, 16(4): 494-502.
- 9) Robertson DG, Caldwell GE, Hmill J, et al.: 身体運動のバイオメカニクス研究法. 宮西智久, 榎本靖士(監訳), 大修館書店, 東京, 2008, pp63-81.
- 10) 土屋和夫, 窪田俊夫, 山崎信寿・他: 臨床歩行分析入門. 医歯薬出版, 東京, 1998, pp25-60.
- 11) Gilles BG, Pierre LB, Philippe G, et al.: 図解・膝の機能解剖と靱帯損傷. 弓削大四朗, 井原秀俊(監訳), 共同医書, 東京, 1995, pp50-80.
- 12) Chang A, Hayes K, Dunlop D, et al.: Thrust during ambulation and the progression of knee osteoarthritis. Arthritis Rheum, 2004, 50(12): 3897-3903.
- 13) Lewek MD, Rudolph KS, Snyder-Mackler L, et al.: Control of frontal plane knee laxity during gait in patients with medial compartment knee osteoarthritis. Osteoarthritis Cartilage, 2004, 12(9): 745-751.
- 14) Mundermann A, Dyrby CO, Hurwitz DE, et al.: Potential strategies to reduce medial compartment loading in patients with knee osteoarthritis of varying severity: reduced walking speed. Arthritis Rheum, 2004, 50(4): 1172-1178.
- 15) Chen CP, Chen MJ, Pei YC, et al.: Sagittal plane loading response during gait in different age groups and in people with knee osteoarthritis. Am J Phys Med Rehabil, 2003, 82(4): 307-312.
- 16) Gök H, Ergin S, Yavuzer G, et al.: Kinetic and kinematic characteristics of gait in patients with medial knee arthrosis. Acta Orthop Scand, 2002, 73(6): 647-652.
- 17) Al-Zahrani KS, Bakheit AM: A study of the gait characteristics of patients with chronic osteoarthritis of the knee. Disabil Rehabil, 2002, 24(5): 275-280.
- 18) Robon MJ, Perell KL, Fang M, et al.: The relationship between ankle plantar flexor muscle moments and knee compressive forces in subjects with and without pain. Clin Biomech, 2000, 15(7): 522-527.
- 19) Hunt MA, Birmingham TB, Bryant D, et al.: Lateral trunk lean explains variation in dynamic knee joint load in patients with medial compartment knee osteoarthritis. Osteoarthritis Cartilage, 2008, 16(5): 591-599.
- 20) Mündermann A, Asay JL, Mündermann L, et al.: Implications of increased medio-lateral trunk sway for ambulatory mechanics. J. Biomech, 2008, 41(1): 165-170.
- 21) Lin CJ, Lai KA, Chou YL, et al.: The effect of changing the foot progression angle on the knee adduction moment in normal teen-agers. Gait Posture, 2001, 14(2): 85-91.
- 22) Nagano Y, Naito K, Saho Y, et al.: Association between in vivo knee kinematics during gait and the severity of knee osteoarthritis. Knee, 2012, 19(5): 628-632.
- 23) Schmitt LC, Rudolph KS.: Influences on knee movement strategies during walking in persons with medial knee osteoarthritis. Arthritis Rheum, 2007, 57(6): 1018-1026.