

変形性膝関節症における椅子からの立ち上がり動作の 運動学的分析

Kinematic Analysis of Sit-to-Stand Motion in Knee Osteoarthritis

阿南 雅也¹⁾ 徳田 一貫²⁾ 木藤 伸宏³⁾ 新小田幸一¹⁾

MASAYA ANAN, RPT, MS¹⁾, KAZUKI TOKUDA, RPT²⁾, NOBUHIRO KITO, RPT, PhD³⁾, KOICHI SHINKODA, RPT, PhD¹⁾

¹⁾ Department of Physical Therapy and Occupational Therapy Sciences, Hiroshima University Graduate School of Sciences: 2-3, Kasumi 1-chome, Minami-ku, Hiroshima 734-8553, Japan. TEL +81 82-257-5417

²⁾ Department of Rehabilitation, Kawashima Clinic

³⁾ Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences, Hiroshima International University

Rigakuryoho Kagaku 25(5): 755-760, 2010. Submitted Apr. 23, 2010. Accepted Jun. 3, 2010.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to analyze the kinematics of sit-to-stand motion (STS) in subjects with knee osteoarthritis (knee OA) and to demonstrate the factor of impairment responsible for pathogenesis and progression of knee OA based on discussion from the standpoint of the kinetic chain of the thorax-pelvis-lower extremity. [Subjects] The subjects were 17 patients with knee OA and 16 age-matched asymptomatic controls. [Methods] Subjects performed STS from a chair with a seat adjusted to the height of the subject's lower leg. Kinematic data of the body segment and joint angles were collected using a motion analysis system (Kissei Comtec). [Results] There were no significant differences between joint angular velocity averages of the body segment in forward movement of center of mass (COM), but those of the knee and ankle in upward movement of COM were significantly smaller. [Conclusion] These results suggest that knee OA subjects can't transfer kinetic energy generated in trunk forward tilting to the lower extremity, making it difficult for them to keep appropriate knee movement and alignment.

Key words: knee osteoarthritis, kinematics analysis, Sit-to-Stand

要旨: [目的] 本研究は、体幹および下肢の運動連鎖の観点から変形性膝関節症（膝OA）の発症・進行に関与する機能障害を明らかにするために、膝OA患者における椅子からの立ち上がり動作（STS）の運動学的分析を行った。[対象] 膝OAと診断された女性17名の膝OA群と膝関節痛を有さない女性16名の対照群とした。[方法] 課題動作は座面高が下腿長の高さの椅子からのSTSとした。3次元動作解析システムKinema Tracer（キッセイコムテック社製）を用いて各体節および下肢関節の角度を求めた。[結果] 身体重心（COM）前方移動期における各体節の角速度の平均値には有意差が認められなかったが、COM上方移動期における膝関節伸展、足関節底屈の角速度平均値は対照群に比し、膝OA群が有意に小さかった。[結語] 膝OA群のSTSにおいて、臀部離床後に体幹前傾で得られた速度を下肢に伝えることができず、適切な膝関節の関節運動および肢節のアライメント保持が難しくなっていることが示唆された。

キーワード: 変形性膝関節症, 運動学的解析, 立ち上がり動作

¹⁾ 広島大学大学院 保健学研究科心身機能生活制御科学講座: 広島県広島市南区霞1-2-3 (〒734-8553) TEL 082-257-5417

²⁾ 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

³⁾ 広島国際大学 保健医療学部理学療法学科

I. はじめに

変形性膝関節症（以下、膝OA）は外傷により直接的軟骨基質障害と軟骨細胞の代謝変化が引き起こされ、骨破壊に至る関節疾患である¹⁾。膝OAは、一次性に発生するものが多く、疼痛や関節水腫などの症状出現、関節可動域制限や大腿四頭筋の筋力低下等の機能障害、膝関節内反変形および内外反動揺の増加等の構築学的な問題を来し、日常生活を送るうえで多くの動作能力が障害される。それらの動作の中で、椅子からの立ち上がり動作（sit-to-stand：以下、STS）は日常頻繁に繰り返される動作であり、座位から立位への姿勢転換に伴う下肢と体幹の広い関節運動と、下肢関節への荷重を要求する動的要素の強い動作である。膝OA患者ではSTS時に疼痛を訴えることが多いとされており、STSの能力は膝OA患者の日常生活の活動レベルに影響を及ぼすと考えられる。しかし、膝OAの動作解析に関する研究の多くは、定常歩行において立脚初期に lateral thrust とよばれる膝関節の病態運動を対象としたものであり²⁻⁵⁾、STSに着目した研究は渉猟した限りにおいては詳細に記述されたものは見当たらない。

膝OAの発症・進行には大腿骨内側顆と脛骨内側関節面で形成される内側コンパートメントの荷重量増加が関与することが挙げられる⁶⁾。木藤ら⁷⁾は、膝OAとは身体の合理的な関節運動連鎖と筋活動が障害されるために、膝関節が有する機能解剖と運動の合理性が失われ、膝関節内に異常な圧縮・回旋負担が作用した結果、膝関節の症状を主症状とする運動連鎖機能不全の一病態に至ったものであると捉えている。このことから、理学療法の実践においては膝関節に注目した局所的視点ではなく、体幹および下肢の運動連鎖を考慮した全体的視点である姿勢・動作から、膝関節に生じる内側コンパートメントの荷重量増加を引き起こす原因となる機能障害の部位を特定することが臨床症状の改善を得るためには重要であると考えられる。そこで本研究は、体幹および下肢の運動連鎖の観点から膝OAの発症・進行に関与する機能障害を明らかにするために、膝OA患者におけるSTSの運動学的分析を行った結果、幾つかの知見を得たので報告する。

II. 対象と方法

1. 対象

片側性または両側性の内側型膝OAと診断された女性17名（64.7 ± 8.0歳）を膝OA群とした。膝OA群は、

表1 被験者の内訳

	膝OA群	対照群
数 (n)	17	16
年齢 (years)	64.7 ± 8.0	61.6 ± 7.5
身長 (cm)	153.8 ± 8.6	149.9 ± 7.3
体重 (kg)	56.5 ± 9.1	53.3 ± 7.5
BMI	23.8 ± 3.2	23.8 ± 3.4

平均 ± 標準偏差

膝関節内側に1ヶ月以上持続する疼痛を有し、X線写真画像で膝関節内側関節裂隙の狭小化や骨棘形成が認められる者であった。また、膝関節内側関節裂隙が完全に閉鎖している者や15°以上の膝関節屈曲拘縮が認められる者は被験者には含めなかった。膝OAの重症度の判定は両脚立位時の膝関節の前後X線写真撮影により、Kellgren-Lawrence分類⁸⁾を用いて行った。その結果、grade IIが10名、grade IIIが7名であった。さらに比較のために、日常生活で膝関節痛を有さず、アメリカリウマチ学会の変形性膝関節症の臨床診断基準⁹⁾を満たさない健康女性16名（61.6 ± 7.5歳）を対照群の被験者とした。被験者の内訳を表1に示した。

本研究はヘルシンキ宣言に沿った研究であり、研究の開始にあたり当該施設の倫理委員会の承認を得た。また、被験者には研究の意義、目的について十分に説明し、同意を得た後に実施した。

2. 方法

課題動作は座面高を下腿長の高さに設定した椅子からのSTSとした。下腿部を鉛直となるようにし、また両足部間距離は両肩峰間距離と等しくなるように足部を配置した。そして股関節と膝関節の中点が椅子座面の先端にくるように設定した姿勢を動作開始前の姿勢とした。なお、座位中は前方をみるように指示し、上肢は前胸部で組ませた。動作開始前の姿勢からの立ち方は、快適スピードとし、動作中に足部を動かさないように、また上肢を使用しないように指示した。練習を1回行い、その後実際の計測を行った。

STS中の身体運動の計測には、CCDカメラ4台で構成される3次元動作解析機器Kinema Tracer(キッセイコムテック社製)を使用した。本実験環境下での計測システムの距離誤差は5mm以下、角度誤差は2°以下であった。STS時の運動学的データは3次元動作解析機器を用い、サンプリング60 frame/sにて画像の記録を基に行った。計測空間内の座標系は右手系に準じ、左右方

向をx軸(右方:+)、前後方向をy軸(前方:+)、鉛直方向をz軸(上方:+)とし、絶対座標系で定義した。マーカー貼付部位は、臨床歩行分析研究会が推奨する方法¹⁰⁾に準拠し、左右肩峰、左右腸骨稜上端、左右股関節(大転子中央と上前腸骨棘とを結ぶ線上で大転子から1/3の点)、左右膝関節(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)、左右足関節(外果中央)、左右第5中足骨骨頭とし、これらに直径20 mmの蛍光マーカーを貼付した。記録した画像から得られた位置データより関節中心点座標を算出した¹⁰⁾。胸部前傾角度は矢状面上において肩峰と腸骨稜上縁を結んだ直線と腸骨稜上縁を通る鉛直線のなす角度、骨盤前傾角度は腸骨稜上縁と股関節を結んだ直線と股関節を通る鉛直線のなす角度、腰部前屈角度は胸部と骨盤の相対角度(胸部前傾角度-骨盤前傾角度)とした。また本研究では、股関節屈曲角度は股関節を通る鉛直線と股関節と膝関節を結んだ直線のなす角度とした。

動作開始前の姿勢から体幹の前傾角速度が初めて正の値を示した点を動作開始とし、股関節の最大伸展の点を動作終了とし、一動作とした。また、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。STSは2回のSTSで得られたデータの平均値を代表値として採用した。下肢データは、対照群は左側、膝OA群は重症度の高い側の値を採用した。

解析項目は、①全動作時間における胸部および骨盤最大前傾、足関節最大背屈の出現時間、②胸部最大前傾および足関節最大背屈時の各体節および下肢関節の角度、③動作開始から胸部最大前傾までの胸部および骨盤前傾、股関節および膝関節伸展、足関節背屈の角度変化量(胸部最大前傾時の各体節および下肢関節の角度-動作開始時の各体節および下肢関節の角度)、④動作開始から胸部最大前傾までの胸部および骨盤前傾、足関節背屈の角速度平均値、足関節最大背屈から動作終了までの股関節および膝関節伸展、足関節底屈の角速度平均値とした。

統計学的解析には統計ソフトウェアSPSS 17.0 J for Windows(エス・ピー・エス・エス社製)を用いた。正規性が認められた場合は2標本t検定を、正規性が認められなかった場合はMann-Whitneyの検定を行った。なお、有意水準は5%未満を採用した。

表2 胸部および骨盤最大前傾、足関節最大背屈の出現時間

	膝OA群	対照群
胸部最大前傾(%)	48.4 ± 4.6	46.3 ± 6.3
骨盤最大前傾(%)	51.3 ± 5.8	51.0 ± 7.8
足関節最大背屈(%)	54.5 ± 3.9	53.7 ± 6.9

平均±標準偏差

III. 結果

STSの全動作時間における胸部および骨盤最大前傾、足関節最大背屈の出現時間を表2に示した。全動作時間における胸部および骨盤最大前傾、足関節最大背屈の出現時間においては膝OA群と対照群の間には有意差が認められなかった。また、出現時間はすべての被験者において胸部最大前傾の後に足関節最大背屈が起きていた。

胸部最大前傾および足関節最大背屈時の各体節および下肢関節の角度を表3に示した。胸部および骨盤前傾、腰部前屈角度は胸部最大前傾時、足関節最大背屈時ともに対照群に比し、膝OA群が有意に大きかった。股関節および膝関節屈曲、足関節背屈角度には両群間で有意差が認められなかった。

動作開始から胸部最大前傾までの胸部および骨盤前傾の角度変化量を表4に示した。胸部および骨盤前傾の角度変化量は対照群に比し、膝OA群が有意に大きかった。また、股関節伸展角度変化量は対照群に比し、膝OA群が有意に大きかった。膝関節伸展および足関節背屈角度変化量には両群間で有意差が認められなかった。

動作開始から胸部最大前傾までの胸部および骨盤前傾、足関節背屈の角速度平均値には有意差が認められなかった(表5)。足最大背屈から動作終了までの膝関節伸展、足関節底屈の角速度平均値は対照群に比し、膝OA群が有意に小さかった(表6)。

IV. 考察

本研究は、膝OAの発症・進行に関与する機能障害を明らかにすることを目的として、対照群と膝OA群のSTSについて運動学的観点から検討した。

STSは臀部・大腿部と足部で作られる広く安定した支持基底面をもつ座位姿勢から、足部のみの狭い支持基底面で立位姿勢を保持しながら行われる過渡動作である。STSの身体重心(Center of Mass: 以下, COM)は、

表3 胸部最大前傾時、足関節最大背屈時の各体節角度

	胸部最大前傾		足関節最大背屈	
	膝 OA 群	対照群	膝 OA 群	対照群
胸部前傾角度 (deg)	45.9 ± 9.1	37.8 ± 9.1*	40.9 ± 8.7	33.0 ± 10.1*
骨盤前傾角度 (deg)	-0.5 ± 9.7	-8.5 ± 10.3*	-2.7 ± 8.5	-9.6 ± 8.3*
腰部前屈角度 (deg)	4.3 ± 5.3	-0.28 ± 5.6*	1.2 ± 5.2	-3.9 ± 7.0*
股関節屈曲角度 (deg)	52.8 ± 8.1	54.3 ± 8.6 ^{n.s}	43.2 ± 8.0	42.8 ± 8.2
膝関節屈曲角度 (deg)	71.4 ± 6.6	73.1 ± 7.3 ^{n.s}	64.5 ± 8.5	66.1 ± 8.1
足関節背屈角度 (deg)	2.6 ± 5.2	3.3 ± 7.6 ^{n.s}	5.2 ± 8.5	6.8 ± 7.6

平均±標準偏差, *: p<0.05

表4 COM前方移動期における各体節角度変化量

	膝 OA 群	対照群
胸部前傾角度 (deg)	40.9 ± 9.4	31.1 ± 7.8*
骨盤前傾角度 (deg)	36.6 ± 7.3	31.4 ± 4.9*
股関節伸展角度 (deg)	14.3 (11.9 ~ 18.0)	10.0 (8.6 ~ 13.3) *
膝関節伸展角度 (deg)	7.3 ± 3.9	5.2 ± 3.9
足関節背屈角度 (deg)	8.1 ± 2.7	7.8 ± 2.3

COM: center of mass, 中央値 (四分位範囲), 平均±標準偏差, *: p<0.05

表5 COM前方移動期における各体節および関節角速度平均値

	膝 OA 群	対照群
胸部前傾角速度 (deg/s)	26.3 (22.8 ~ 40.6)	27.4 (22.6 ~ 32.5)
骨盤前傾角速度 (deg/s)	26.6 (21.7 ~ 33.6)	27.2 (22.6 ~ 32.5)
足関節背屈角速度 (deg/s)	7.2 (4.8 ~ 9.6)	8.6 (6.2 ~ 9.1)

中央値 (四分位範囲)

表6 COM上方移動期における各下肢関節の角速度平均値

	膝 OA 群	対照群
股関節伸展角速度 (deg/s)	42.3 ± 13.2	49.0 ± 13.8
膝関節伸展角速度 (deg/s)	54.1 ± 17.6	67.5 ± 19.8*
足関節底屈角速度 (deg/s)	12.7 (8.0 ~ 16.6)	19.6 (14.5 ~ 21.8) *

中央値 (四分位範囲), 平均±標準偏差, *: p<0.05

まずCOMが前方へ移動し,その後は上方へ移動する¹¹⁾。COMの前方移動に関与するのは体幹前傾運動と足関節背屈運動であり,COMの上方移動に関与するのは主に股関節伸展および膝関節伸展運動である¹²⁾。また,STSでは臀部離床時を境にCOMを足部のみの狭い支持基底面に前方移動しなければならないが,この臀部離床直後のCOM制御が最も難しいとされ,この制御ができないと臀部離床後に再び座面に臀部が戻ってしまう sit-back¹³⁾が生じる可能性がある。これは臀部離床直後に

は足部のみの支持基底面より後方にCOMが存在することが多く,後方への回転モーメントが発生するためである。また,臀部および大腿には座面である支持面から離れる瞬間に支持面を押して動きに加速をつけるようなpush off機能がない¹⁴⁾。これらのことから,臀部離床を効率よく行うためには,体幹前傾によって速度を獲得させることで,前方への回転モーメントを発生させることが重要となる。そこで本研究では,COMの前方移動に関与する体幹(胸部,骨盤)および下腿の角

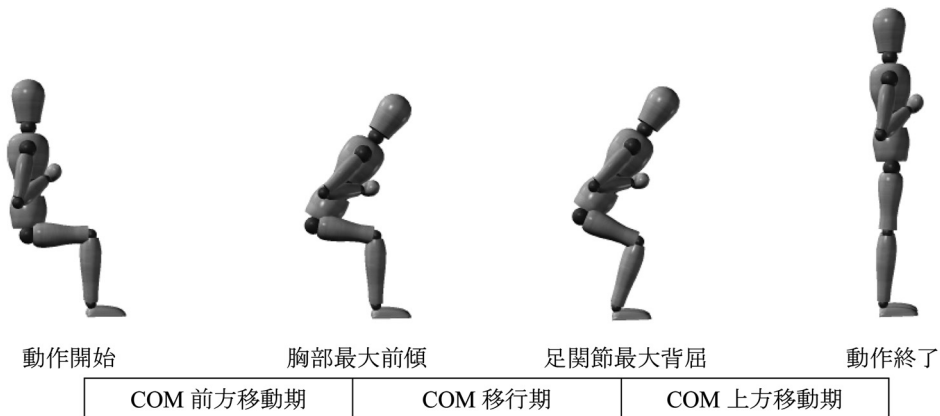


図1 STSの相分け

度変化ならびに角速度,そしてCOMの上方移動時の角速度に着目して解析・考察を行った。

全動作時間における胸部および骨盤最大前傾,足関節最大背屈の出現時間においては膝OA群と対照群の間には有意差は認められなかった。また,出現順序は,すべての被験者において胸部最大前傾の後に足関節最大背屈が出現していた。STS動作の相分けとしてMillingtonら¹⁵⁾は第1相を体幹前傾開始から膝関節伸展開始までの体重移動相,第2相が膝関節伸展開始から体幹後傾開始までの移行相,第3相が体幹後傾開始から動作終了までの上昇相の3相に分類している。しかし,COMの前方移動を行っている体節および肢節は体幹および下腿であり,この相分けでは下腿の運動を捉えることが困難である。また,膝関節運動は大腿と下腿の相動の結果であり,膝関節の運動は股関節,足関節の運動に修飾された関節運動である¹⁶⁾。以上のことから,第1相が動作開始から胸部最大前傾までのCOM前方移動期,第2相が胸部最大前傾から足関節最大背屈までのCOM移行期(COMの前方および上方移動が合わさっている),第3相が足最大背屈から動作終了までのCOM上方移動期と定義することができた(図1)。

ここで各体節および肢節の動きに注目すると,胸部最大前傾時および足関節最大背屈時ともに,胸部および骨盤前傾角度は対照群に比し,膝OA群が有意に大きかった。また,COM前方移動期における胸部および骨盤前傾角度変化量は対照群に比し,膝OA群が有意に大きかった。つまり,膝OA群では体幹をより前傾をさせることによって足部に限定される支持基底面へCOMを近づけ,安定性の保証を得ようとしていること,また臀部離床に必要な股関節伸展モーメントを多く得よう

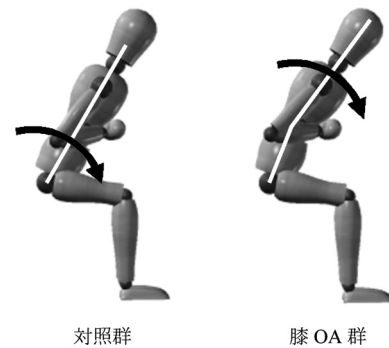


図2 COM前方移動方法の違い

対照群は胸部-骨盤の適切な連結機能を高め,骨盤を有効に利用したCOM前方移動を行っているのに対し,膝OA群は遠位の頭部・胸部の重さを利用したCOM前方移動を行っている。

としていることが示唆された。

次に,腰部前屈角度およびCOM前方移動期における股関節伸展角度変位量は,対照群に比し,膝OA群が有意に大きかった。佐久間ら¹⁷⁾はSTS中の体節をより長く保つことによって,股関節を中心とする回転運動エネルギーを効率よく利用できると報告している。特に体幹は運動の主体であり,胸部-骨盤の機能的連結が必要である。腰部前屈角度は膝OA群が有意に大きかったことから,対照群は胸部-骨盤の適切な連結機能を高め,骨盤を有効に利用したCOM前方移動を行っているのに対し,膝OA群は遠位の頭部・胸部の重さを利用したCOM前方移動を行っていると推測される(図2)。また,STS中の筋活動に関し,臀部離床前において脊柱起立筋,大殿筋の順に活動し,これらの筋は体幹前

傾の制御のために遠心性収縮を行っている¹⁵⁾と報告されている。また、福士¹⁸⁾はSTSにおいて体幹内部の運動方向の切り替えが体幹前傾で起こったCOMの前方移動を、速やかに上方へ変移させる役割を担っていると報告している。つまり、体幹前傾に対して脊柱起立筋の作用でブレーキをかけ、大殿筋によって臀部離床を行っていると解釈できるが、膝OA群では腰部がより前屈してしまうためにこれらの機能が適切に発揮されず、その補償のためにCOM前方移動期において膝関節伸展運動をより早期に行っていたことが示唆された。

COM前方移動期での胸部および骨盤前傾、足関節背屈の角速度平均値には有意差が認められなかった。そしてCOM上方移動期での膝関節伸展、足関節底屈の角速度平均値は対照群に比し、膝OA群が有意に小さくなった。Millingtonら¹⁵⁾はSTSの動作戦略の1つである運動量戦略とは、体幹の動きをとおして生成された運動量が下肢へ移送され、身体を停止させずに新たな姿勢へと滑らかに動くため、最も効率的な戦略であると報告している。つまり、膝OA群ではCOM前方移動において、体幹前傾および足関節背屈運動によって発生される角速度を十分に獲得できているが、COM上方移動に有効に利用できていないと推測される。特に足関節底屈の角速度が小さくなっていくということは、膝関節伸展運動を下腿ではなく大腿による運動が主に行われており、適切な膝関節の関節運動と肢節のアライメント保持が難しくなるため、より多くの筋活動によって補完されている可能性が示唆された。

以上の結果から、膝OA群のSTSにおいてCOM前方移動では、胸部および骨盤をより前傾させることで速度を獲得しているが、腰部前屈角度がより大きく早期に大腿部による股関節伸展が出現していた。このため、臀部離床後に体幹前傾で得られた速度を下肢に伝えることができず、適切な膝関節の関節運動が破綻し、肢節のアライメント保持が難しくなっていることが示唆された。以上のことから膝OAの理学療法として、膝OAの発症・進行に関与する機能障害とされる体幹部へのアプローチを行い、胸部-骨盤の安定性を高め適切な連結機能を得ることが重要である。このことが、体幹前傾によって得られた速度を臀部離床後のCOM上方移動に有効に利用できる機能を発揮させることにつながり、膝OAの発症と進行の予防につながると期待される。

本研究の限界として、運動力学データおよび実際の筋活動を観察していない。このため、各関節における実際の負担を求めている。今後の課題として運動力

学データと筋電図学データを加えることにより、膝OA発症・進行につながる因子を突き止めることができ、理学療法アプローチに還元できると考えられる。

引用文献

- 1) 石黒直樹, 小嶋俊久: 変形性関節症における関節軟骨の変性. 関節外科, 2004, **23**: 19-24.
- 2) Andriacchi TP, Mündermann A, Smith RL, et al.: A framework for the in vivo pathomechanics of osteoarthritis at the knee. Ann Biomed Eng, 2004, **32**: 447-57.
- 3) Baliunas AJ, Hurwitz DE, Ryals AB, et al.: Increased knee joint loads during walking are present in subjects with knee osteoarthritis. Osteoarthritis Cartilage, 2002, **10**: 573-579.
- 4) Gok H, Ergin S, Yavuzer G: Kinetic and kinematic characteristics of gait in patients with medial knee arthrosis. Acta Orthop Scand, 2002, **73**: 647-652.
- 5) Kaufman KR, Hughes C, Morrey BF, et al.: Gait characteristics of patients with knee osteoarthritis. J Biomech, 2001, **34**: 907-915.
- 6) Knecht S, Vanwanseele B, Stüssi E: A review on the mechanical quality of articular cartilage—implications for the diagnosis of osteoarthritis. Clin Biomech, 2006, **21**: 999-1012.
- 7) 木藤伸宏, 石井慎一郎, 三輪 恵: 変形性膝関節症の理学療法のアプローチ. 理学療法, 2003, **20**: 429-438.
- 8) Kellgren JH, Lawrence JS: Radiological assessment of osteoarthritis. Ann Rheum Dis, 1957, **16**: 494-502.
- 9) Altman RD, Bloch DA, Bole GG, et al.: Development of clinical criteria for osteoarthritis. J Rheumatol, 1987, **14**: 3-6.
- 10) 山崎信寿: 運動学的因子の分析. 臨床歩行分析入門 (臨床歩行分析懇談会 編), 医歯薬出版, 東京, 1989, pp25-60.
- 11) Kelly DL, Dainis A, Wood GK: Mechanics and muscular dynamics of rising from a seated position. International Series on Biomechanics, University Park Press, Baltimore, 1976, pp127-134.
- 12) Yu B, Holly-Crichlow N, Brichta P, et al.: The effects of the lower extremity joint motions on the total body motion in sit-to-stand movement. Clin Biomech, 2000, **6**: 449-455.
- 13) Riley PO, Krebs DE, Popat RA: Biomechanical analysis of failed Sit-to-Stand. IEEE Trans Rehabil Eng, 1997, **5**: 353-359.
- 14) 富田昌夫: 立ち上がり動作の介助・誘導. 運動分析 (黒川幸雄, 他編), 三輪書店, 東京, 2000, pp138-146.
- 15) Millington PJ, Myklebust BM, Shambes GM: Biomechanical analysis of the sit-to-stand motion in elderly persons. Arch Phys Med Rehabil, 1992, **73**: 609-617.
- 16) 石井慎一郎, 石井美和子, 赤木家康: 臨床にいかす動作分析 (4) 骨・関節系疾患の動作分析. 理学療法ジャーナル, 2000, **34**: 279-289.
- 17) 佐久間誠司, 平田 学, 中条麻理・他: 椅子からの立ち上がり動作分析. 神奈川県総合リハビリテーションセンター紀要, 1993, **19**: 1-6.
- 18) 福士宏紀: 立ち上がり動作における体幹運動の運動学的分析. 東北理学療法学, 2006, **18**: 49-53.