■原 著

内側型変形性膝関節症の外部膝関節内反モーメントと疼痛, 身体機能との関係

External Knee Adduction Moment during Stepping in Subjects with Medial Knee Osteoarthritis is Correlated with Pain and Disability

木藤 伸宏^{1,2)} 新小田 幸一²⁾ 金村 尚彦³⁾ 阿南 雅也²⁾
山崎 貴博^{1,2)} 石井慎一郎⁴⁾ 加藤 浩⁵⁾

NOBUHIRO KITO, RPT, MS^{1,2)}, KOICHI SHINKODA, RPT, PhD²⁾, NAOHIKO KANEMURA, RPT, PhD³⁾,
MASAYA ANAN, RPT, MS²⁾, TAKAHIRO YAMAZAKI, RPT, MS^{1,2)}, SHINICHIRO ISHII, RPT, PhD⁴⁾, HIROSHI KATO, RPT, PhD⁵⁾

¹⁾ Faculty of Health Sciences, Hiroshima International University: 555-36 Kurose-gakuendai, Higashi hiroshima, Hiroshima 739-2695, Japan. TEL +81 823-70-4552 FAX +81 823-70-4542

²⁾ Hiroshima University Graduate School of Health Sciences

³⁾ Department of Physical Therapy, Saitama Prefectural University

⁴⁾ Faculty of Rehabilitation, Kanagawa University of Human Services

⁵⁾ Department of Rehabilitation, Kyushu University of Nursing and Social Welfare

Rigakuryoho Kagaku 23(5): 633-640, 2008. Submitted Apr. 1, 2008. Accepted May 26, 2008.

ABSTRACT: [Purpose] In this study, we examined if a relationship exists between clinical assessments of symptoms (pain and function) and external knee and hip adduction moment during stepping movement in patients with medial knee osteoarthritis (knee OA). [Subjects] Thirty patients with early medial knee OA and 18 age-matched asymptomatic controls walked while the kinematic and kinetic data were measured. [Methods] Biomechanical data were collected from two force plates (ANIMA) and a motion analysis system (Kissei Comtec). Pain and physical function were measured using the pain and physical function subscales of the WOMAC index. [Results] External knee adduction moment and external hip adduction moment did not differ significantly between the knee OA and control subjects. A significant difference in external knee adduction moment (%) was found between the two groups ($p<0.05$). Stepwise forward regression analysis revealed relatively high contributions of external knee adduction moment in the single leg stance phase to the pain subscale of the WOMAC index. [Conclusion] This suggests that a nonsurgical approach would be useful for reducing the external knee adduction moment.

Key words: medial knee osteoarthritis, external knee adduction moment, clinical symptoms

要旨: [目的] 本研究は足踏み動作時の外部膝関節内反モーメントを内側型変形性膝関節症(膝OA)群と健常群で比較した。さらに膝OA群の外部膝関節内反モーメントと疼痛, 身体機能との関係を明らかにすることを目的とした。[対象] 被験者は内側型変形性膝関節症と診断された女性30名(膝OA群), 健常女性18名(対照群)であった。[方法] 動作課題とした足踏み動作を, 3次元動作解析装置と床反力計を用いて計測した。疼痛と身体機能に関してはWOMACを用いて評価した。[結果] 外部股関節内転モーメント, 外部膝関節内反モーメントは膝OA群と対照群で有意な差はなかった。外部膝関節内反モーメント比率は, 片脚起立期では膝OA群は対照群より有意に大きかった。片脚起立期の外部膝関節内反モーメントは, 疼痛に影響を与える要因である可能性が示唆された。疼痛は身体機能に影響を与える要因であった。[結論] 膝OAの理学療法では外部膝関節内反モーメントを減少させる治療戦略が重要であることが示唆された。

キーワード: 変形性膝関節症, 外部膝関節内反モーメント, 臨床症状

¹⁾ 広島国際大学 保健医療学部理学療法学科: 広島県東広島市黒瀬学園台555-36 (〒739-2695)
TEL 0823-70-4552 FAX 0823-70-4542

²⁾ 広島大学大学院 保健学研究科保健学専攻 ³⁾ 埼玉県立大学 保健医療福祉学部理学療法学科

⁴⁾ 神奈川県立保健福祉大学 保健福祉学部リハビリテーション学科 ⁵⁾ 九州看護福祉大学 看護福祉学部リハビリテーション学科

受付日 2008年4月1日 受理日 2008年5月26日

I. はじめに

内側型変形性膝関節症（以下、膝OA）の治療では観血的治療と保存的治療に大きく分けられ、早期膝OAや何らかの理由で観血的治療ができない膝OAでは保存的治療が行われる。膝OAに対する数々の保存療法のうち、運動療法を主体とする理学療法は疼痛の軽減や身体運動機能改善に重要であるという認識が一般的である¹⁾。

過去の研究では、膝OAの発症と進行には膝関節内に発生する異常なメカニカルストレスが関与しているとの報告がある²⁾。しかし、筋力³⁾、関節可動域⁴⁾、歩行能力⁵⁾、WOMAC⁶⁾やSF-31⁷⁾などの評価では膝関節内に生じる異常なメカニカルストレスを感知できない。このメカニカルストレスとは、荷重時に膝関節内側コンパートメントに生じる圧縮ストレスのことである⁸⁾。膝OAに対する理学療法の効果を明らかにするためには上記の評価に加え、荷重時に膝関節内側コンパートメントに生じる圧縮ストレスの変化についても言及する必要がある。この圧縮ストレスを反映する指標として外力として膝関節を内反させるモーメント（以下、外部膝関節内反モーメントと略す）がある⁹⁾。

膝OAでは、下肢の内反変形、内外反動揺の増加¹⁰⁾、膝関節外反モーメントの増大¹¹⁻¹⁴⁾など前額面の運動学・運動力学的異常が顕著となる。膝関節が体幹と股関節と足関節で構成される多関節運動連鎖のなかで機能することを考えると、膝関節内側コンパートメントに生じる圧縮ストレスの変化は膝関節単独の問題によるものではない可能性がある。McGibbonら¹⁵⁾は、膝OAの歩行時立脚相の矢状面に起こる補償動作について、膝OAでは膝関節伸展の求心性パワーが低下し、それを補うために股関節伸展の遠心性パワーを増加させると報告している。そのため、膝OAでは膝関節のみでなく、体幹を含め他の下肢関節との運動連鎖を考慮することの重要性を指摘している。また、Changら¹⁶⁾とMundermannら¹⁷⁾は、膝OAの前額面での膝関節機能を考える場合、股関節機能低下が膝関節機能に与える影響を無視できないことを報告している。以上のことより、膝OAの理学療法の展開には膝関節と股関節を考慮した新たな指標が必要であると思われる。

本研究は、1) 足踏み動作時の外部膝関節内反モーメントが膝OAの理学療法の評価指標として有効か否かを明らかにするために、膝OA群と健常群で外部膝関節内反モーメントを比較すること、さらに2) 膝OA群の膝関節外反モーメントと疼痛、身体機能との関係を明ら

かにすることを目的とした。

II. 方法

1. 対象

被験者は片側性または両側性内側型膝OAと診断された女性30名（38～81歳：平均年齢 64.33 ± 10.55 歳）を膝OA群とし、このうち片側性膝OAと診断されたのは16名、両側性膝OAと診断されたのは14名であった。膝OA群は、膝関節内側に1ヶ月以上持続する疼痛を有し、X線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度以上の膝関節屈曲拘縮が認められる者は膝OA群から除外した。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¹⁸⁾を満たさない女性17名（52～74歳：平均年齢 62.39 ± 7.53 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。

本研究は川崎整形外科病院の倫理委員会による承認を得た後に実施された。さらに、全被験者に研究の目的と内容を説明し、文書による同意を得た上で実験を行った。

2. 方法

課題動作は足踏み動作とした。被験者は開始時姿勢で上肢を胸部前方で組み、2枚の床反力計（G-620、アニマ社製）上で左右の下肢を1枚ずつに離して立位となった。検者の合図と同時にメトロノームにあわせ62 step/minのリズムで30秒間の足踏みを行った。まず練習を1回行い、その後に実際の計測を行った。

足踏み動作中の身体運動を計測するために、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）と2枚の床反力計を使用した。本実験環境下での計測システムの距離誤差は5 mm以下、角度誤差は2度以下であった。

運動学的データ収集は3次元動作解析機器を用い、サンプリング60 frame/sにて足踏み動作時の画像を記録した。マーカー貼付部位は、臨床歩行分析研究会の勧める方法に準拠し、左右肩峰、左右腸骨稜上端、左右上前腸骨棘、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中足骨骨頭に直径20 mmの蛍光マーカーを貼付した¹⁹⁾。その画像から得られた位置データより関節中心点座標と身体

表1 膝OA群と対照群の年齢、身体的特徴、活動状態の比較

	健常群	膝 OA 群	
被験者数	18	30	
年齢 (year)	62.3 ± 7.5	64.3 ± 10.5	NS
身長 (m)	1.5 ± 0.14	1.53 ± 0.17	NS
体重 (kg)	52.9 ± 7.1	57.2 ± 8.0	NS
BMI (kg/m ²)	23.5 ± 3.2	24.4 ± 2.8	NS
WOMAC (疼痛)	0	15.73 ± 9.35	*
WOMAC (身体機能)	1.06 ± 2.27	19.57 ± 8.22	*

mean ± SD で示す, NS: not significant, *: $p < 0.05$.

重心座標を算出した。股関節中心点は、左右の股関節マーカーを結んだ直線に沿って、線長の18%ずつ内挿した点とした。膝関節中心点は、膝関節と足関節と第5中足骨骨頭マーカーの作る平面に垂直に膝関節マーカーから身長2.6%を内挿した点とした。足関節中心点は、膝関節と足関節と第5中足骨骨頭に置いたマーカーの作る平面に垂直に足関節マーカーから身長2%を内挿した点とした¹⁹⁾。身体重心座標は身体を足部、下腿、大腿、体幹の各体節に分けて、岡田ら²⁰⁾の身体部分慣性特性を用いて、各体節の重心座標と身体重心座標を算出した。

運動力学的データは、バランス解析ソフト（アニマ社製）を用い、床反力計の信号をサンプリング周波数200 Hzにて取り込み、床反力鉛直成分と足圧中心座標を求めた。

運動学的データ及び運動力学的データから、両側の足部、下腿部、大腿部、および体幹よりなる7リンク剛体モデルで近似し、足踏み動作中の外部股関節内転モーメント、外部膝関節内反モーメント、外部足関節内反モーメントの推定値を求めた（付録1）。

計測肢足底が床反力計に接し、離れるまでを一動作周期とした。足踏み動作のリズムは一定にして行わせたが、一動作に要する時間が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%ごとのデータを算出した。足踏み動作が安定した時点から任意に3動作周期を選択し解析対象とした。なお、各被験者間の体重差の影響を取り除くために、解析では算出した関節モーメントは被験者の体重で除した値を採用した。足踏み動作時の床反力パターンから、通常の歩行の荷重応答期、片脚起立期、離床期に相当する各イベントを割り当てた。荷重応答期は計測肢足底が接床し、非計測肢足底が離床するまでの期間、片脚起立期は非計測肢足底が離床し再度接床するまでの期

間、離床期は非計測肢足底が接床し計測肢足底が離床するまでの期間である¹⁹⁾。荷重応答期の最大外部股関節内転モーメントと最大外部膝関節内反モーメント、片脚起立期の平均外部股関節内転モーメントと外部膝関節内反モーメント（最大、最小、平均）を求めた。前額面での姿勢制御では体幹の正中位保持をいかに制御するかが重要となる。片脚起立期では外部股関節内転モーメントと外部膝関節内反モーメントに比較して外部足関節内反モーメントは小さい^{16,17)}。よって体幹には、主に外部股関節内転モーメントと外部膝関節内反モーメントが作用しているものと考え、この2つのモーメントの総和に対する外部膝関節内反モーメントの百分率である荷重応答期最大外部膝関節内反モーメント比率、片脚起立期外部膝関節内反モーメント比率（最大、最小、平均）を算出した。

すべてのデータは、3動作周期で得られたデータを平均した値を代表値とした。対照群は左側を計測肢とし、膝OA群の両側性膝OAと診断された被験者は疼痛がより強い側を計測肢とした。

両脚立位時の膝の前後から X 線写真撮影を行い、Kellgren-Lawrence分類²¹⁾を用いて重症度の分類を行った（表2）。さらに、下肢アライメントの指標として大腿骨軸と脛骨軸のなす内側の角度（FTA：外反>180度、内反≤180度）を測定した。

疼痛と身体機能は、Western Ontario McMaster University Rating (WOMAC-3.0)²²⁾を用いて評価した。疼痛についてはvisual analog version 3.0 (VA3.0：最大50点)を用い、身体機能についてはLikert version 3.0 (LK3.0：最大68点)を用いた。点数が高くなるにしたがって疼痛が強くなり、身体機能の障害が強いことを示す。

数値は平均±標準偏差で表した。膝OA群と対照群の比較には、対応のないt検定を行った。膝OA群の重症度別の比較には一元配置分散分析を用いた。相関関係についてはPearsonの積率相関係数を求めた。要因分析にはStepwise回帰分析を行った。危険率は5%未満を採用し、解析にはSPSS 11.0 J for Windows（エス・ピー・エス・エス・ジャパン社製）を使用した。

III. 結 果

Kellgren-Lawrence 分類による重症度によって、疼痛、身体機能、外部膝関節内反モーメント、外部膝関節内反モーメント比率に有意な差は認められなかったため、膝OA群をひとつの群とすることに問題はないと判断した（表3）。

表2 膝OAのKellgren-Lawrence分類²¹⁾

Grade	Narrowing of joint space	Osteophytes	Sclerosis	Deformation of joint contour
I	Doubtful	Possible lipping	None	None
II	Possible	Definite	None	None
III	Definite	Moderate	Some	Possible
IV	Marked	Multiple Large	Severe	Definite

表3 膝OA群の重症度別（Kellgren-Lawrence分類）の各パラメータの比較

Kellgren-Lawrence 分類	I	II	III
FTA	183.8 ± 2.92	181.07 ± 2.91	180.41 ± 34
WOMAC（疼痛）スコア	14.44 ± 7.84	16.46 ± 11.02	15.37 ± 8.04
WOMAC（身体機能）スコア	18.8 ± 4.16	17.64 ± 8.93	22.36 ± 8.57
外部股関節内転モーメント			
荷重応答期，最大	0.59 ± 0.17	0.74 ± 0.32	0.69 ± 0.21
外部膝関節内反モーメント			
荷重応答期，最大	0.64 ± 0.19	0.73 ± 0.22	0.78 ± 0.18
片脚起立期，最大	0.51 ± 0.26	0.64 ± 0.25	0.68 ± 0.22
片脚起立期，最小	0.38 ± 0.28	0.49 ± 0.25	0.53 ± 0.19
片脚起立期，平均	0.45 ± 0.27	0.58 ± 0.24	0.61 ± 0.2
外部膝関節内反モーメント比率			
荷重応答期，最大	52.47 ± 1.89	52.03 ± 5.42	53.94 ± 4.37
片脚起立期，最大	51.21 ± 6.08	52.15 ± 9.18	54.71 ± 6.91
片脚起立期，最小	49.73 ± 11.45	54.03 ± 12.26	56.44 ± 9.29
片脚起立期，平均	49.59 ± 7.69	51.83 ± 8.89	54.06 ± 6.81

mean ± SD で示す。

荷重応答期，片脚起立期ともに外部股関節内転モーメント，外部膝関節内反モーメントは，膝OA群と対照群に有意な差は認められなかった。外部膝関節内反モーメント比率では，膝OA群は対照群に比し，片脚起立期の最大，最小，平均で有意に大きかった（表4）。

WOMAC（疼痛）スコア，WOMAC（身体機能）スコア，BMI，FTA，荷重応答期最大外部膝関節内反モーメント，片脚起立期外部膝関節内反モーメント（最大，最小，平均）との相関係数を表5に示した。WOMAC（疼痛）スコアとWOMAC（身体機能）スコアには強い相関が認められた（ $r = 0.73, p < 0.001$ ）。WOMAC（疼痛）スコアは，片脚起立期最大外部膝関節内反モーメントと有意な相関が認められた（ $r = 0.37, p = 0.04$ ）。

Stepwise回帰分析の結果，片脚起立期平均外部膝関節内反モーメントが疼痛に影響を与える要因としての可能性が示唆された（ $R^2 = 0.12, p = 0.05$ ）（表6）。疼痛とBMIは身体機能に影響を与える要因であった（ $R^2 = 0.573, p < 0.001$ ）（表7）。

IV. 考 察

本研究は，足踏み動作時の外部膝関節内反モーメントが膝OAの理学療法における臨床指標として有用か否かを明らかにするために膝OA群と対照群で比較すること，さらに膝OA群の外部膝関節内反モーメントと疼痛，身体機能との関係を明らかにすることを目的として行った。外部膝関節内反モーメントは対照群と膝OA群で荷重応答期，片脚起立期ともに有意な差は認められなかった。外部膝関節内反モーメント比率は，荷重応答期では対照群と膝OA群で有意な違いは認められなかったが，片脚起立期では対照群に比較して膝OA群は有意に高かった。疼痛には，寄与率は低いものの片脚起立期の外部膝関節内反モーメントが影響を与える要因であることが示された。身体機能には，疼痛とBMIが影響を与える要因として可能性が示された。

本研究では外部膝関節内反モーメントは対照群と膝OA群で荷重応答期，片脚起立期ともに有意な差は認め

表4 膝OA群と対照群の外部膝関節内反モーメントとその比率の比較

	健常群	膝 OA 群	
外部股関節内転モーメント			
荷重応答期，最大	0.7 ± 0.25	0.69 ± 0.35	NS
外部膝関節内反モーメント			
荷重応答期，最大	0.72 ± 0.23	0.74 ± 0.21	NS
片脚起立期，最大	0.6 ± 0.27	0.63 ± 0.23	NS
片脚起立期，最小	0.43 ± 0.24	0.49 ± 0.27	NS
片脚起立期，平均	0.52 ± 0.27	0.57 ± 0.21	NS
外部膝関節内反モーメント比率			
荷重応答期，最大	50.87 ± 2.12	52.8 ± 4.65	NS
片脚起立期，最大	47.5 ± 8.14	52.92 ± 7.82	*
片脚起立期，最小	44 ± 19.05	54.2 ± 11.13	*
片脚起立期，平均	45.72 ± 0.14	52.27 ± 7.95	*

mean ± SD, NS: not significant, *: p < 0.05.

表5 膝OA群の外部膝関節内反モーメントと疼痛，身体機能との相関関係

	外部膝関節内反モーメント			
	荷重反応期	片脚起立期		
	最大	最大	最小	平均
WOMAC	0.33	0.37	0.35	0.35
(疼痛)	(0.07)	(0.04)	(0.06)	(0.06)
WAMAC	0.27	0.18	0.32	0.28
(身体機能)	(0.27)	(0.21)	(0.08)	(0.13)

上段：相関係数，下段：(p 値)。

表6 WOMAC（疼痛）に影響を与える要因

被験者：膝 OA 群 (n=30)

	目的変量：WOMAC（疼痛）R ² =0.2, p=0.05			
	偏回帰係数	標準偏回帰係数	有意確率	
	B	標準誤差		
(定数)	7.674	4.359		0.089
外部膝関節内反モーメント				
片脚起立期，平均 (Nm/kg)	0.141	0.071	0.352	0.057

られなかった。過去の報告においても，歩行中の外部膝関節内反モーメントについて膝OAは健常人と比較して大きくなるか否かについては相反する報告がなされている^{11-14,23)}。その理由として膝OAは，外部膝関節内反モーメントを減少させる補償戦略を行うことが挙げられている²⁴⁻²⁶⁾。その補償戦略として，足部のToe-out肢位²⁴⁾，体幹の立脚肢への傾き²⁵⁾，歩行速度の減速²⁶⁾などが確認されている。本研究にて課題動作とした足

踏み動作は足底の初期接地から荷重応答までは歩行に近い動的動作であり，外部膝関節内反モーメントを減少させる補償戦略が本研究結果に影響していることが推測される。さらにこれまでに報告されている研究^{11,13,14)}では，中等度から重度の膝OAを被験者としているのに対し，本研究では初期から中等度の膝OAを被験者としたことも有意差が認められなかった原因と推測される。本研究において膝関節機能と股関節機能を考慮した

表7 WOMAC（身体機能）に影響を与える要因

	目的変量：WOMAC（身体機能） $R^2=0.57$, $p=0.001$			
	偏回帰係数		標準偏回帰係数	有意確率
	B	標準誤差	β	
(定数)	-4.33	9.09		0.637
疼痛	0.629	0.112	0.71	$p<0.001$
BMI	0.574	0.371	0.196	0.133

外部膝関節内反モーメント比率を新たなパラメーターとして定義した。外部膝関節内反モーメント比率は、荷重応答期では対照群と膝OA群で有意な違いは認められなかったが、片脚起立期では対照群と比較して膝OA群は有意に高かった。前額面の身体バランスには空間における体幹と骨盤の位置制御が重要となる。前額面で大きな筋を有しているのは股関節であり、中殿筋と大殿筋の役割が重要となる。外部膝関節内反モーメント比率が大きくなるということは、前額面の身体バランス制御において股関節の役割が減少し、膝関節の負担が増えていることを意味している。前額面で膝関節を走行する大きな筋はなく、大腿外側浅層筋膜や深層筋膜の張力および膝関節内側コンパートメントに生じる圧が増加していると推測される。つまり、外部膝関節内反モーメント比率は膝OAの膝関節内側コンパートメントに生じる圧縮ストレスと前額面の身体バランスの制御の特徴を表す臨床指標として注目できる。

本研究は片脚起立期の外部膝関節内反モーメントは、寄与率は低いものの、疼痛に影響を与える可能性が示唆された。身体機能には、疼痛とBMIが影響を与える要因であった。膝OAの理学療法の目的として、膝関節内側コンパートメントに生じる異常な圧縮ストレスの軽減だけではなく、疼痛の減少と身体機能の向上も重要である。これまで、外部膝関節内反モーメントと疼痛・身体機能との関係についての報告は非常に少ない。Kimら¹²⁾は、片脚起立時の外部膝関節内反モーメントとWOMACの疼痛スコアとの間に相関関係が認められ、外部膝関節内反モーメントは主観的症状を反映する生体力学的指標として有用であると報告した。一方、Weidenhielmら²⁷⁾とMaryら²⁸⁾は、外部膝関節内反モーメントと主観的症状、歩行能力、身体機能は関係がないことを報告している。本研究の結果から、外部膝関節内反モーメントは疼痛に影響を与え、疼痛は身体機能に影響を与えることが示された。疼痛は外部膝関節内反モーメントと身体機能に相互作用することが推測で

きる。膝OAに対する理学療法では、膝関節周囲筋のみではなく股関節周囲筋にも注目することにより、外部膝関節内反モーメントを減少させ、それが疼痛軽減に繋がり、身体機能の改善をもたらす可能性が示唆された。

本研究の限界を述べる。まず、本研究の被験者は片側膝OAと両側膝OAが混在していたことである。両者の運動学的と運動力学的特徴の違いを考慮せずに膝OA群の一群としたことが、結果に影響を及ぼしている可能性がある。次に本研究は横断研究であり、外部膝関節内反モーメントとその比率が高かったことが原因なのか結果なのかについては言及できない。そのことを明らかにするためには長期的追跡研究が必要である。

以上の限界を踏まえ、本研究から得られる結論は、1) 外部膝関節内反モーメントとその比率は理学療法の臨床指標として有用である、2) 外部膝関節内反モーメントは疼痛と身体機能と関係があり、外部膝関節内反モーメント比率は前額面の姿勢バランスにおける股関節と膝関節の貢献度を反映する、3) 膝OAの理学療法では外部膝関節内反モーメントを減少させることが疼痛軽減に繋がり、その結果身体機能の改善へと導く可能性が示唆された。

謝辞 本研究を行うにあたりご協力していただいた医療法人玄真堂 川島整形外科病院 川島眞人先生、田村裕昭先生、永芳郁文先生およびリハビリテーション科スタッフの皆様に深謝いたします。

引用文献

- 1) Roddy E, Zhang W, Doherty M, et al.: Evidence-based recommendations for the role of exercise in the management of osteoarthritis of the hip or knee—the MOVE consensus. *Rheumatology*, 2005, **44**: 67-73.
- 2) Knecht S, Vanwanseele B, Stussi E: A review on the mechanical quality of articular cartilage-implications for the diagnosis of osteoarthritis. *Clin Biomech*, 2006, **21**: 999-1012.
- 3) Fisher NM, Gresham GE, Abrams M, et al.: Quantitative effects of

- physical therapy on muscular and functional performance in subjects with osteoarthritis of the knees. *Arch Phys Med Rehabil*, 1993, **74**: 840-847.
- 4) Walker CR, Myles C, Nutton R, et al.: Movement of the knee in osteoarthritis. The use of electrogoniometry to assess function. *J Bone Joint Surg Br*, 2001, **83**: 195-198.
 - 5) McGibbon CA, Krebs DE, Scarborough DM: Rehabilitation effects on compensatory gait mechanics in people with arthritis and strength impairment. *Arthritis Rheum*, 2003, **49**: 248-254.
 - 6) O'Reilly SC, Muir KR, Doherty M: Effectiveness of home exercise on pain and disability from osteoarthritis of the knee: a randomised controlled trial. *Ann Rheum Dis*, 1999, **58**: 15-19.
 - 7) Foy CG, Penninx BW, Shumaker SA, et al.: Long-term exercise therapy resolves ethnic differences in baseline health status in older adults with knee osteoarthritis. *J Am Geriatr Soc*, 2005, **53**: 1469-1475.
 - 8) Andriacchi TP, Mundermann A, Smith RL, et al.: A framework for the in vivo pathomechanics of osteoarthritis at the knee. *Ann Biomed Eng*, 2004, **32**: 447-457.
 - 9) 山本澄子: 身体運動のバイオメカニクス. 理学療法科学, 2003, **18**(3): 109-114.
 - 10) Lewek MD, Rudolph KS, Snyder-Mackler L: Control of frontal plane knee laxity during gait in patients with medial compartment knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*, 2004, **12**: 745-751.
 - 11) Thorp LE, Sumner DR, Block JA, et al.: Knee joint loading differs in individuals with mild compared with moderate medial knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum*, 2006, **54**: 3842-3849.
 - 12) Kim WY, Richards J, Jones RK, et al.: A new biomechanical model for the functional assessment of knee osteoarthritis. *Knee*, 2004, **11**: 225-231.
 - 13) 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.
 - 14) 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.
 - 15) McGibbon CA, Krebs DE: Compensatory gait mechanics in patients with unilateral knee arthritis. *J Rheumatol*, 2002, **29**: 2410-2419.
 - 16) Chang A, Hayes K, Dunlop D, et al.: Hip abduction moment and protection against medial tibiofemoral osteoarthritis progression. *Arthritis Rheum*, 2005, **52**: 3515-3519.
 - 17) Mundermann A, Dyrby CO, Andriacchi TP: Secondary gait changes in patients with medial compartment knee osteoarthritis: increased load at the ankle, knee, and hip during walking. *Arthritis Rheum*, 2005, **52**: 2835-2844.
 - 18) Altman RD, Bloch DA, Bole GG, et al.: Development of clinical criteria for osteoarthritis. *J Rheumatol*, 1987, **14**: 3-6.
 - 19) 山本澄子, 江原義弘, 萩原章由・他: ボディダイナミクス入門 片麻痺者の歩行と短下肢装具. 医歯薬出版, 東京, 2005, pp2-15.
 - 20) 岡田英考, 阿江通良, 藤井範久: 日本人高齢者の身体部分慣性特性. バイオメカニズム 13. 東大出版会, 東京, 1996, pp125-138.
 - 21) Kellgren JH, Lawrence JS: Radiological assessment of osteoarthritis. *Ann Rheum Dis*, 1957, **16**: 494-502.
 - 22) Bellamy N, Buchanan WW, Goldsmith CH, et al.: Validation study of WOMAC: a health status instrument for measuring clinically important patient relevant outcomes to antirheumatic drug therapy in patients with osteoarthritis of the hip or knee. *J Rheumatol*, 1988, **15**: 1833-1840.
 - 23) Messier SP, DeVita P, Cowan RE, et al.: Do older adults with knee osteoarthritis place greater loads on the knee during gait? A preliminary study. *Arch Phys Med Rehabil*, 2005, **86**: 703-709.
 - 24) Lin CJ, Lai KA, Chou YL, et al.: The effect of changing the foot progression angle on the knee adduction moment in normal teenagers. *Gait Posture*, 2001, **14**: 85-91.
 - 25) Viton JM, Atlani L, Mesure S, et al.: Reorganization of equilibrium and movement control strategies after total knee arthroplasty. *J Rehabil Med*, 2002, **34**: 12-19.
 - 26) 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**: 1172-1178.
 - 27) Weidenhielm L, Svensson OK, Brostrom LA, et al.: Adduction moment of the knee compared to radiological and clinical parameters in moderate medial osteoarthritis of the knee. *Ann Chir Gynaecol*, 1994, **83**: 236-242.
 - 28) Maly MR, Costigan PA, Olney SJ, et al.: Role of knee kinematics and kinetics on performance and disability in people with medial compartment knee osteoarthritis. *Clin Biomech*, 2006, **21**: 1051-1059.

付録1 関節モーメントの算出方法

運動学的データ及び運動力学的データから、両側の足部、下腿部、大腿部および体幹よりなる7リンク剛体モデルで近似し、足踏み動作中の外部股関節内転モーメント、外部膝関節内反モーメント、外部足関節内反モーメントの推定値を算出した。以下にその推定式の求め方を示す。

股関節をh、膝関節をk、足関節をaで表し、各関節中心点の前額面でのx座標を x_h , x_k , x_a とする。さらに m_1 , m_2 , m_3 で以下に示す身体部分の質量を

$$m_1 = \text{大腿} + \text{下腿} + \text{足部}$$

$$m_2 = \text{下腿} + \text{足部}$$

$$m_3 = \text{足部}$$

で表し、 x_{m1} , x_{m2} , x_{m3} をそれぞれの質量中心の前額面x座標とすると、

$$\text{外部股関節内転モーメント} = Fz(x_h - x_p) - m_1g(x_h - x_{m1})$$

$$\text{外部膝関節内反モーメント} = Fz(x_k - x_p) - m_2g(x_k - x_{m2})$$

$$\text{外部足関節内反モーメント} = Fz(x_a - x_p) - m_3g(x_a - x_{m3})$$

となる。股関節外転、膝関節外反、足関節外反の各方向を正（プラス）とする。ただし、 x_p は足圧中心の前額面x座標、 g は重力加速度（9.8 m/s²）、 Fz は床反力鉛直成分（N）を表す。