

2009-21029A

厚生労働科学研究費補助金
長寿科学総合研究事業

動作解析装置を用いた歩行障害・ADL障害の解明
に関する研究

平成21年度 総括・分担研究報告書

平成22年(2010)年5月

主任研究者 松 本 秀 男

目 次

I. 班員構成

動作解析装置を用いた歩行障害・ADL 障害の解明に関する研究班……………	3
--------------------------------------	---

II. 統括研究報告書

主任研究者 松本秀男 慶應義塾大学医学部整形外科 ……………	7
(資料) 日本整形外科学会変形性関節症委員会による調査票	
(資料) 倫理委員会により承認を得たコンセンツフォームおよび同意書	

III. 分担研究報告書

1. 動作解析装置を用いた歩行障害・ADL 障害の解明に関する研究 ……………	13
慶應義塾大学医学部 整形外科 名倉武雄 松本秀男	
2. 動作解析装置を用いた歩行障害・ADL 障害の解明に関する研究 ……………	107
国立障害者リハビリテーションセンター病院 赤居正美 中澤公孝	
3. 動作解析装置を用いた歩行障害・ADL 障害の解明に関する研究 ……………	113
新潟大学超越研究機構整形外科 大森 豪	
4. 動作解析装置を用いた歩行障害・ADL 障害の解明に関する研究 ……………	127
大阪大学大学院医学系研究科運動器医工学治療学寄附講座 菅野伸彦	
5. 歩行障害の臨床的評価……………	307
大分大学医学部脳神経機能統御講座 整形外科 津村 弘	

IV. 研究成果の刊行に関する一覧表 …………… 325

V. 研究成果の刊行物・別冊 …………… 331

I. 班員構成

動作解析装置を用いた歩行障害・ADL 障害の解明に関する研究班

区分	氏名	所属等	職名
主任研究者	松本秀男	慶應義塾大学医学部整形外科	准教授
分担研究者	名倉武雄	慶應義塾大学医学部整形外科	講師
	赤居正美	国立身体障害者リハビリテーションセンター病院	病院長
	中澤公孝	国立身体障害者リハビリテーションセンター病院 運動機能系障害研究部	部長
	大森 豪	新潟大学超越研究機構整形外科	教授
	菅野伸彦	大阪大学大学院医学系研究科運動器医工学治療学 寄附講座	教授
	津村 弘	大分大学医学部脳神経機能統御講座 (整形外科学)	教授
研究協力者	津田晃佑	大阪大学大学院医学系器官制御外科学	助教
	柿本明博	協和病院整形外科	部長
	中村宣雄	協和病院整形外科人工関節センター	センター長
	片岡晶志	大分大学医学部附属病院リハビリテーション部	准教授
事務局		慶應義塾大学信濃町研究支援センター 〒160-8582 東京都新宿信濃町35 TEL : 03-5363-3879 FAX : 03-5363-3610	
経理事務 担当者	光永明弘	慶應義塾大学信濃町研究支援センター 〒160-8582 東京都新宿信濃町35 TEL : 03-5363-3879 FAX : 03-5363-3610 E-mail: akihiro.mitsunaga@adst.keio. ac.jp	

Ⅱ． 統括研究報告書

動作解析装置を用いた歩行障害・ADL障害の解明に関する研究
主任研究者 松本 秀男 慶應義塾大学医学部整形外科

研究要旨 高齢者が要支援となる主な原因疾患である変形性膝関節症を対象に、動作計測を行い日常生活動作における力学的負荷と臨床症状の関連を検証し、疾患の病態を反映する新しい評価指標を提唱することを目的とした。日常生活動作に関する計測を行い、動作解析データの各パラメータと身体的特徴・臨床症状・X線による重症度の関連を多元的に統計解析した。動作解析のパラメータとして欧米において疾患病態を反映する指標とされている膝内反モーメントに注目し、各施設に既存する274例にデータ解析を行った。その結果、膝内反モーメントは重症度、F T A、臨床スコアいずれとも高い相関を認め、有用な疾患評価パラメータとなりうることが明らかとなった。そこで各施設において同一のプロトコールによる計測を開始し、309例(H20年114例・H21年195例)のデータを得た。これらのデータより、より簡易に計測可能な疾患指標の抽出を行った。その結果、下肢の内反変形および膝内反モーメントを反映するパラメータとして、膝内反動揺性(膝内反スラスト量)を定量的に評価することで疾患重症度を予測できる可能性が示された。

分担研究者

名倉武雄	慶應義塾大学医学部 整形外科特別研究講師
赤居正美	国立身体障害者リハビリ センター病院病院長
中澤公孝	国立身体障害者リハビリ センター病院部長
大森 豪	新潟大学超越研究機構 整形外科教授
菅野伸彦	大阪大学大学院医学系 器官制御外科学教授
津村 弘	大分大学医学部脳神経 機能統御講座教授

研究協力者

津田晃佑	大阪大学大学院医学系 器官制御外科学助教
柿本明博	協和病院整形外科部長
中村宣雄	協和病院整形外科人工 関節センター長
川上 秀夫	大阪警察病院 整形外科 医長

片岡晶志	大分大学医学部附属 病院リハビリテーショ ン部准教授
------	----------------------------------

A. 研究目的

変形性関節症は高齢者が要支援となる疾患の第1位を占め、高齢化社会を迎える日本の医療においてその適切な診断・治療に対するニーズは大きい。中でも変形性膝関節症は頻度が高く、病状の進行により歩行能力が低下しADLを大きく障害する。変形性膝関節症の診断には通常X線を用いるが、患者が症状を訴えるのは実際の動作中であり、静的評価であるX線では実際の病態を反映しないことも多い。初年度は、X線に変わる新たな評価方法として、動作解析装置による関節負荷の計測を行い、臨床症状・重症度・ADL障害との関連を検討してきた。本年度は、疾患の病態を反映する客観的指標の提唱を行う。

変形性膝関節症の重要な関節負荷指標

として、歩行中の膝内反モーメント(Knee varus moment)が提唱され、病態・予後との関連が研究されてきた(Hurwitz DE et al 2000, 2002, Mundermann A et al 2004)。しかしこれら欧米のデータは体格や膝の形態が異なり、わが国の患者評価のための指標とはなりえない。日本人の変形性膝関節症患者に関する関節負荷についてはほとんどデータがなく、病態・予後との関連も不明である。動作解析装置はX線を用いず、非侵襲的に動作中の関節負荷を計測できる。患者が症状を訴える歩行・階段昇降などのADL動作を計測することで、より病態を反映した指標を取得する。

本研究班は膝関節外科・生体医工学・生理学・リハビリテーション医学のスペシャリストからなり、より侵襲の少ない動作解析手法による変形性膝関節症の病態・力学的負荷解明のための班構成である。各施設が行ってきた臨床・基礎研究のノウハウを統合することで、疾患評価のための統一的な計測手法を確立し、的確な診断のための簡便な指標を提唱する。これまでの静的X線評価ではなく、患者の実際の動的評価により、新たな客観的指標を確立することが本研究の独創的な点である。さらには日常生活動作における膝関節の力学的負荷が明らかになることで、それぞれの病態に応じた適切な装具治療の選択や生活指導指針の作成が可能となる。

B. 研究方法

本研究班の各組織においてすでに設置されている3次元動作解析装置を用いて、60歳以上の変形性関節症患者を対象に計測を行う。症例は各施設40例以上(合計200例以上)とする。計測動作については、全施設で最低限分析を行

う日常生活動作(Minimum requirement)として歩行、階段昇降、イスおよび床からの立ち上がり動作とする。各動作時の下肢関節の屈曲角度変化・内外反角度変化、膝関節にかかる力学的負荷(Force、Torque)を算出する。

変形性膝関節症の臨床評価は、日本整形外科学会・変形性関節症委員会による調査票を用いる。さらに各施設において従来用いてきたスケール(JCOM、HSSスコア等)も併せて取得する。

また各症例の立位正面・側面およびローゼンバーク肢位についてX線撮影を行い、Kellgren-Lawrence分類による重症度の判定を行う。さらに膝周囲の筋力について定量的評価を行う。

(倫理面での配慮)

本研究では、研究対象者に対する人権擁護上の配慮、研究方法による研究対象者に対する不利益、危険性の排除や説明と理解(インフォームドコンセント)に関わる状況に関して十分に配慮する。動作解析においては、体表にマーカーを添付するのみで被験者に苦痛を与えることはないが、計測中の転倒などの不慮の事故や疲労などを生じる可能性があるためこれらについて十分説明し、計測中も細心の注意を払うものとする。またX線撮影・計測についても、被爆を最小限にするなど配慮を行う。これらについては事前に倫理委員会による承認を得たコンセントフォームを用いて不利益・危険性などについて個々に十分な説明を行い、了承を得たものについてのみ計測を行う。研究代表者はこれらについて、各研究者に周知徹底する。各施設において、倫理委員会の承認を取得済である。

本研究では実験動物は使用しない。

C. 研究結果

本研究班の各組織においてすでに設置されている3次元動作解析装置を用いて、60歳以上の変形性関節症患者を対象に同一プロトコールによる計測を行い、合計309例のデータを取得した。

以下各施設における結果の概要を記す。

(慶應大学・松本・名倉)

44例について重症度ごとに表面マーカーより求めた膝内反動揺性(内反スラスト量)と膝内反モーメントを調べた。KL分類の2度(25例)・3度(13例)・4度(6例)の接地時マーカーFTAはそれぞれ 182.8 ± 4.5 、 187.3 ± 3.8 、 189.5 ± 7.7 度、また立脚初期のマーカーFTAは 185.2 ± 4.8 、 190.1 ± 4.3 、 196.7 ± 5.0 であり、内反スラスト量はそれぞれ、 2.4 ± 1.3 、 2.8 ± 1.4 、 7.2 ± 5.3 であった。また膝内反モーメント(%BW*Ht)はそれぞれ、 3.6 ± 1.5 、 3.9 ± 1.2 、 6.9 ± 2.2 であった。いずれも重症度と相関を示し、内反スラスト量と膝内反モーメントの相関は0.73と高かった。

(国立リハビリセンター・赤居)

45例について複数の表面マーカーを用いた歩行時膝運動の精密解析を行い、健常人(13例)と比較した。軽症群(KL1度2度)では生理的な回旋運動の障害と急激な内外反(側方動揺性)の出現がみられた。重症群(KL3度4度)では立脚全般の著しい内反を認めた。

(大阪大学・菅野・津田)

100例について重症度ごとに臨床症状・下肢内反角・疼痛の比較を行った。軽症群(KLS: I, II, N=44)、重症群(KLS: III, IV, N=56)のFTAはそれぞれ平均177度、183度、JOAS(疼痛・歩行能)はそれぞれ平均26点、20点、歩行時VASはそれぞれ平均16mm、45mmと、いずれについても軽症・重症間で有意差を認めた。下肢内反角と膝内反モーメントの相関は0.478であった。

(新潟大学・大森)

地方住民健診による縦断的研究(N=689)により、膝内反スラストの有無を定性的に調べた。その結果、膝OA発症群のうちスラストありは、男37.5%、女62.8%、スラストなしは男26.9%、女35.9%であった。膝OA進行群のうち、スラストありは男23.3%、女46.5%、スラストなしは男17.8%、女27.4%であった。すなわち変形性膝関節症が発症または進行した群では内反スラストを認めるものが有意に多かった。さらに39例について歩行中の下肢荷重線通過点と膝内外反運動の関係を調べたところ、この両者は高い正の相関($R=0.82$)を示した。

(大分大学・津村・片岡)

外来における簡易評価手法開発のため、デジタルビデオと解析ソフト(Form Finder)を用いて内反スラスト量の評価を試みた。18例についてパイロットスタディを行い、前方からのビデオ撮影により内反スラストの計測が可能であることが示された。今後簡易計測システム構築のため、マーカー貼付部位、マーカーの色、ビデオ撮影方向などを検証する必要があることが明らかとなった。

D. 考察

変形性膝関節症の診断・重症度判定は通常X線を用いて行われる。特に臨床においてKellgren-Lawrenceらによる分類(K-L分類)が汎用されているが、このX線による重症度分類と実際の病態や疾患病勢が必ずしも一致しないこと経験する。これは、X線が患者を静止させて行う検査であり、患者の動的な因子を含んでいないために生じる現象と考えられる。本研究班による研究により、変形性膝関節症の重症度・病態を反映するパラメータとして、下肢内反変形、内反動揺

性および膝内反モーメントを得た。

膝内反モーメントについては、欧米を中心に多くのエビデンスが出されており変形性膝関節症の病態・重症度・治療効果判定に有用なパラメータであることが確認された。一方膝内反動揺性（内反スラスト）については、表面マーカーより計測が可能であるため、より簡易な計測システムを確立できると考えられた。パイロットスタディで示されたように、前方からのビデオ撮影、専用ソフトの使用により膝内反スラストを定量的に計測可能であった。膝内反モーメントと膝内反スラストの相関は高く、新たな臨床評価指標として、膝内反スラスト量が提案される。特に、進行期、末期の関節症では膝内反スラスト量の増加は明らかであった。一方、変形性膝関節症の発症前、または軽症例のデータを蓄積することで、疾患進行の予測が可能であるかを検討する必要がある。

E. 結論

変形性膝関節症を対象に、動作計測を行い日常生活動作における力学的負荷と臨床症状の関連を検証した。動作解析データの各パラメータと身体的特徴・臨床症状・X線による重症度の関連を多元的に統計解析した。その結果、歩行時の膝内反モーメントは重症度、F T Aおよび臨床スコアいずれとも高い相関を認めた。膝内反モーメントは、わが国の患者においても変形性膝関節症の病態を最も反映する力学的負荷の指標となると考えられた。さらに本年度の研究により、膝内反スラスト量は膝内反モーメントと相関が高く、かつ簡易に計測が可能であった。疾患の新たな評価基準として膝内反スラスト量の計測が提案された。

F. 健康危険情報

特に該当なし。

Ⅲ. 分担研究報告書

分担研究報告書

1. 動作解析装置を用いた歩行障害・ADL 障害の解明に関する研究

慶應義塾大学医学部整形外科 特別研究講師 名倉武雄

慶應義塾大学医学部スポーツ医学総合センター教授 松本秀男

分担研究報告書

動作解析装置を用いた歩行障害・ADL 障害の解明に関する研究

分担研究者	慶應義塾大学医学部整形外科 特別研究講師	名倉武雄
	慶應義塾大学医学部スポーツ医学総合センター	松本秀男

A. 目的

変形性関節症は高齢者が要支援となる疾患の第1位を占め、高齢化社会を迎える日本の医療においてその適切な診断・治療に対するニーズは大きい。中でも変形性膝関節症は頻度が高く、病状の進行により歩行能力が低下し ADL を大きく障害する。変形性膝関節症の診断には通常 X 線を用いるが、患者が症状を訴えるのは実際の動作中であり、静的評価である X 線では実際の病態を反映しないことも多い。本研究では、X 線に変わる新たな評価方法として、動作解析装置による関節負荷の計測を行い、臨床症状・重症度・ADL 障害との関連を検討する。最終的には、疾患の病態を反映する客観的指標の提唱を行う。

これまで変形性膝関節症の重要な関節負荷指標として、歩行中の膝内反トルク(Knee varus torque)が提唱され、病態・予後との関連が研究されてきた (Hurwitz DE et al 2000, 2002, Mundermann A et al 2004)。しかしこれら欧米のデータは体格や膝の形態が異なり、わが国の患者評価のための指標とはなりえない。日本人の変形性膝関節症患者に関する関節負荷についてはほとんどデータがなく、病態・予後との関連も不明である。動作解析装置は X 線を用いず、非侵襲的に動作中の関節負荷を計測できる。患者が症状を訴える歩行・階段昇降などの ADL 動作を計測することで、より病態を反映した指標を取得できると考えられる。さらには現在運動器不安定症の診断基準として用いられている片脚起立、6m 歩行テストについても計測を行い、これらの指標と実際の関節負荷との関連を検討し、診断基準としての有用性についてその裏づけを行う。

主任研究者である松本は、これまで変形性膝関節症の基礎・診断・治療について、数多くの研究および症例を経験しそれらを教科書・著書として出版している。また日本整形外科学会・変形性関節症委員会の委員として、わが国における変形性関節症にかかわる医療行政・ガイドライン作成などに携わってきた。また、分担研究者の名倉はこれまで変形性膝関節症患者の生体工学的評価・歩行解析に取り組み、多くの知見を集積している。これらの基礎・臨床的経験を元に、本研究班の統括・データの集計を行う。

昨年度の研究にてこれまで当施設においてデータを取得した変形性膝関節症患者について、臨床症状・重症度・下肢アライメントおよび歩行解析パラメータの関連を調査した。本年度は2年目として、新たな疾患評価パラメータの提案を行った。

B. 方法

内側型変形性膝関節症患者 34 例 44 膝平均年齢 72 歳(59－84 歳)を対象とした(表 1)。インフォームドコンセントの後、下肢 6 箇所(両膝関節・両大腿骨・両足関節)に反射マーカを添付し、4 台の赤外線カメラおよび床反力計を用いて 120Hz にて歩行解析を行った(図 1)。Inverse Dynamics 法により歩行中の膝内反モーメントを算出した。また股関節・膝関節・足関節外側の 3 つのマーカより歩行中の下肢内反角(=マーカ FTA)を算出し、立脚期における最大内反角と接地時内反角の差(=内反ラスト量)を求めた(図 2)。また、上記 2 パラメータと立位 X 線による大腿骨脛骨角(=FTA)との関係(Pearson 相関係数)を調べた。

表 1 被験者内訳

変形性膝関節症グレード	N	年齢 (平均)	HSS スコア (平均)
K-L 2 度	25	65－81 (72)	83.6±8.4
K-L 3 度	13	65－81 (72)	78.8±8.1
K-L 4 度	6	66－77 (71)	72.8±7.6

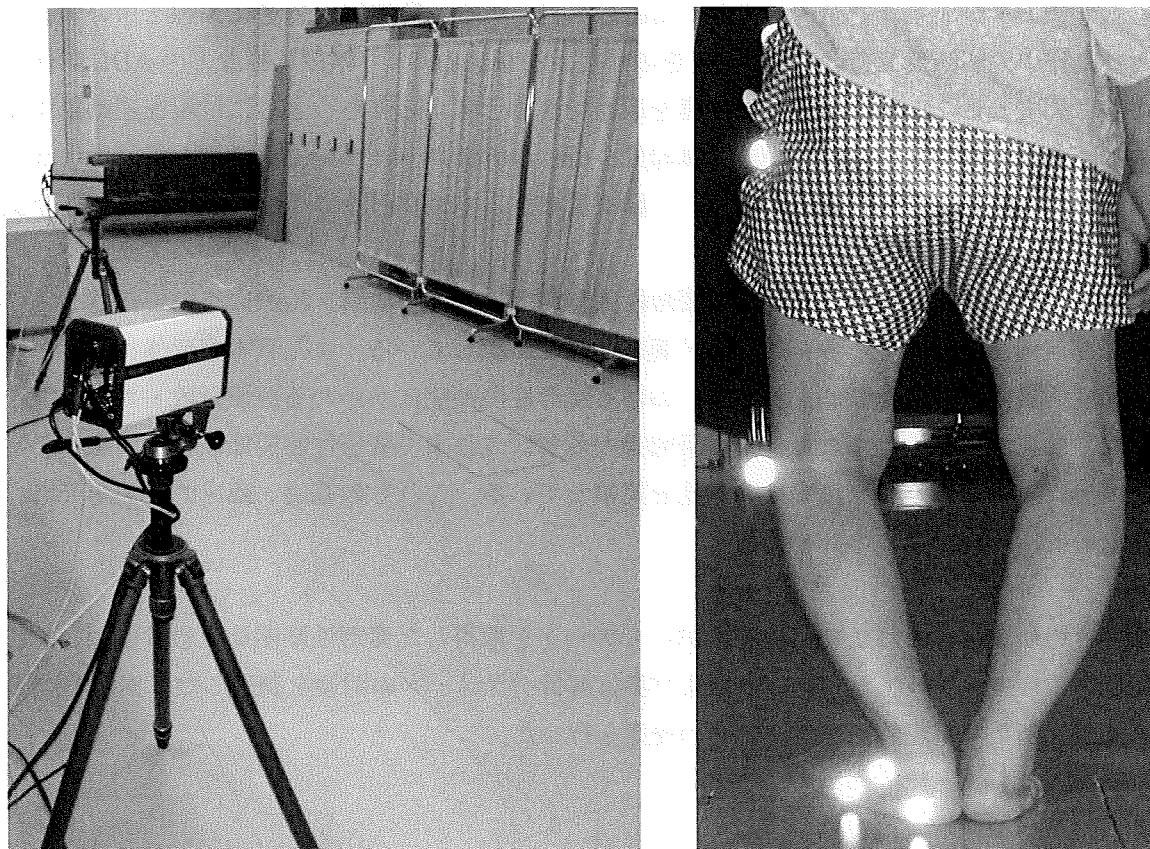


図 1 3次元歩行解析装置と反射マーカ

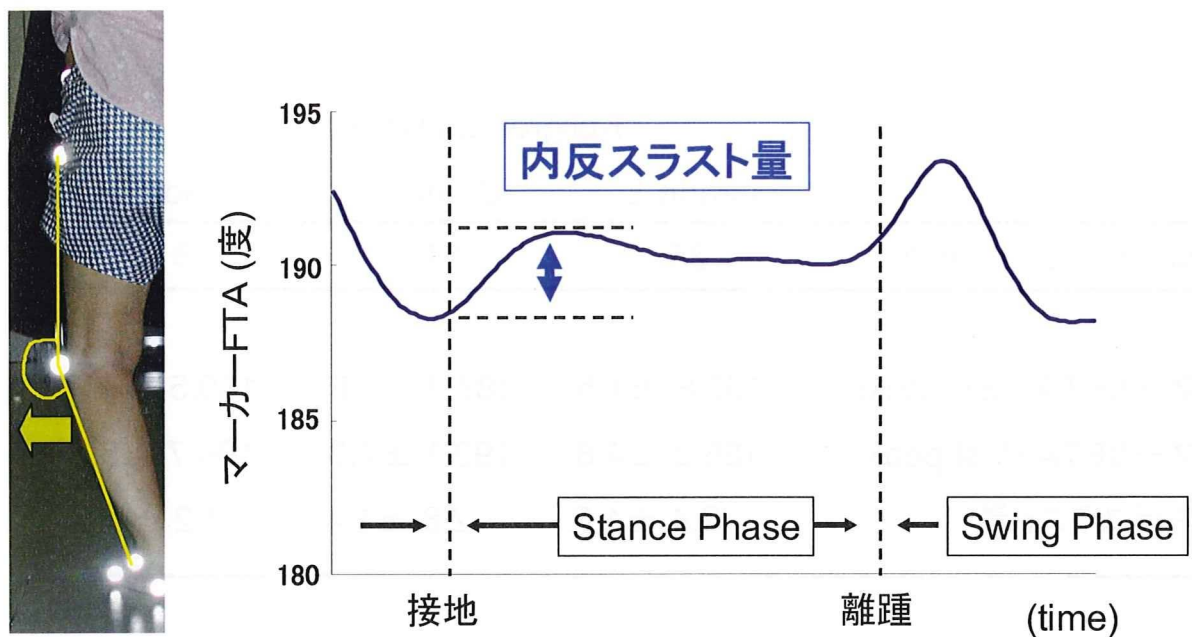


図2 マーカーF T Aと内反スラスト量

C. 結果

1 臨床スコアと下肢アライメントの関係（表2）

	Kellgren-Lawrence		
	Grade 2	Grade 3	Grade 4
Number of subjects	25	13	6
HSS score	83.6±8.4	78.8±8.1	72.8±7.6
FTA (degrees)	185.6 ±6.2	186.6 ±5.4	197.3 ±7.4

臨床スコア（HSSスコア）と重症度（KL分類）の有意水準は $p=0.019$ であった。
 下肢アライメント（FTA）と重症度（KL分類）の有意水準は $p=0.0005$ であった。
 すなわち、臨床スコア、下肢アライメントとも変形性膝関節症の重症度と有意な相関を認めた。

2 マーカーによる内反角および内反スラスト量（表 3）

	Kellgren-Lawrence		
	Grade 2	Grade 3	Grade 4
Number of subjects	25	13	6
マーカFTA (heel strike)	182.8 $\pm$ 4.5	187.3 $\pm$ 3.8	189.5 $\pm$ 7.7
マーカFTA (first peak)	185.2 $\pm$ 4.8	190.1 $\pm$ 4.3	196.7 $\pm$ 5.0
内反スラスト量	2.4 $\pm$ 1.3	2.8 $\pm$ 1.4	7.2 $\pm$ 5.3

下肢マーカーによる内反角（F T A）は 接地時(heel strike)および立脚初期(first peak)ともに、変形性膝関節症の重症度が増加するほど増加した。また立脚初期のマーカ F T A より接地時のマーカ F T A を減じた内反スラスト量も、重症度が増加すると増加した。

内反スラスト量と重症度（K-L grade）は有意な相関を示した（ $p=0.000089$ ）。

3 膝内反モーメントと重症度（表 4）

	Kellgren-Lawrence		
	Grade 2	Grade 3	Grade 4
Number of subjects	25	13	6
膝内反モーメント(%BW*Ht)	3.6 $\pm$ 1.5	3.9 $\pm$ 1.2	6.9 $\pm$ 2.2

他のパラメータ同様、重症度が増加すると、歩行時の膝内反モーメントも増加した。

すなわち、膝内反モーメントと重症度（K-L grade）は有意な相関を示した（ $p=0.00012$ ）。

4 下肢アライメント (F T A)、内反スラスト量、膝内反モーメントの関係

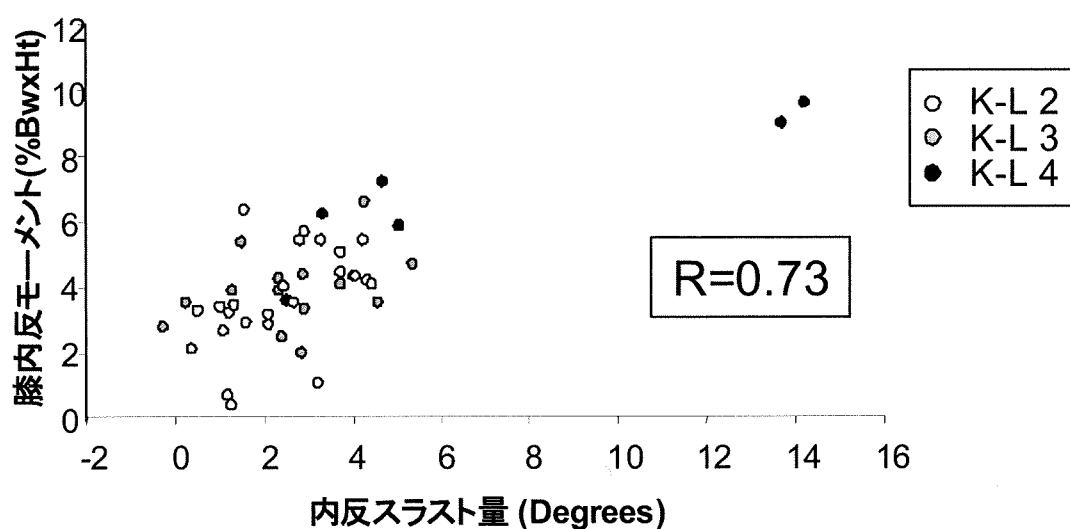


図3 膝内反モーメントと内反スラスト量の関係

各重症度における、膝内反モーメントと内反スラストの関係は図3のようになった。
いずれの重症度においても、両者は強い正の相関を示した ($R=0.73$)

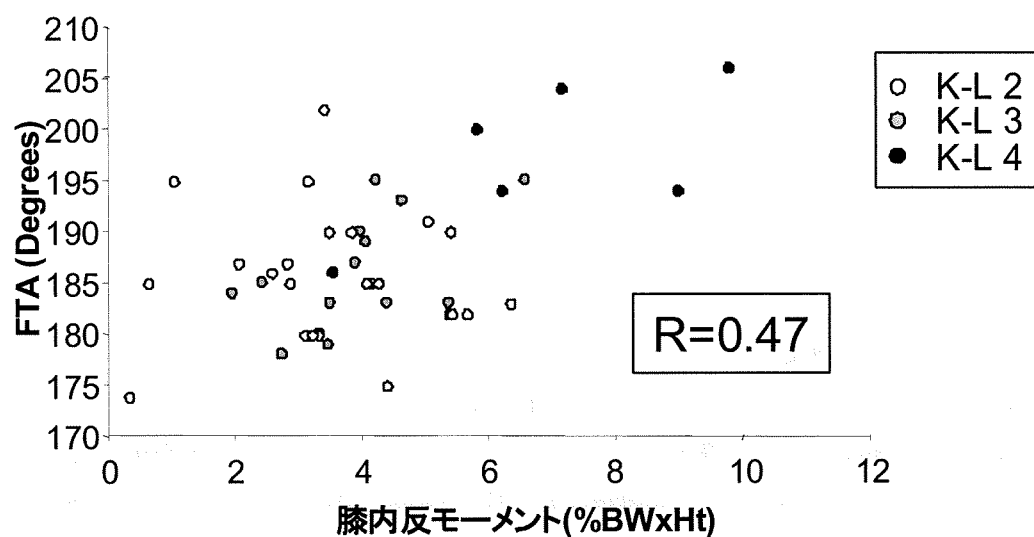


図4 下肢アライメント (F T A) と膝内反モーメントとの関係

各重症度における、膝内反モーメントと内反スラストの関係は図3のようになった。
いずれの重症度においても、両者は弱い正の相関を示した ($R=0.47$)

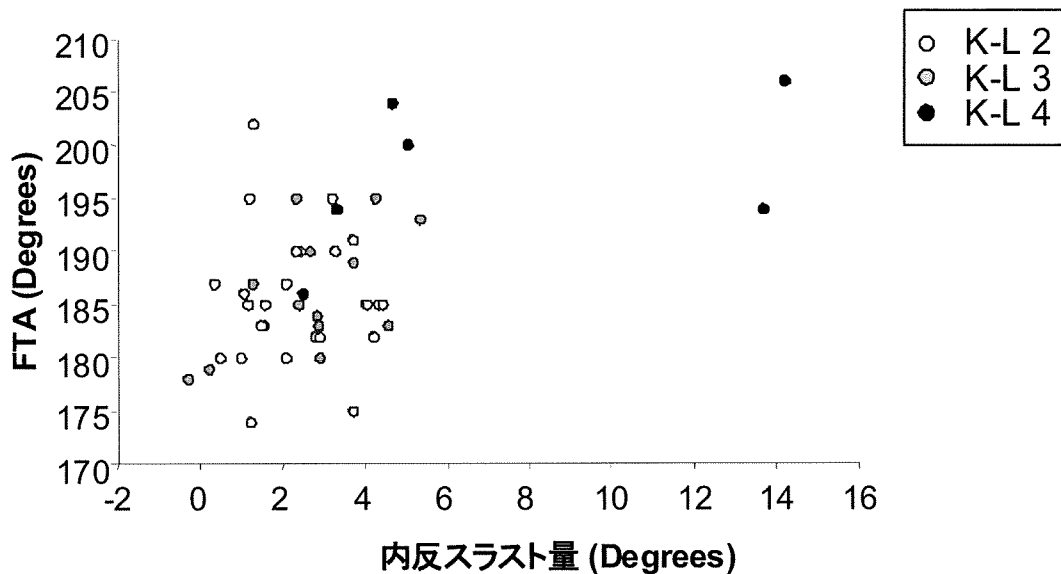


図5 下肢アライメント（FTA）と内反スラスト量の関係

各重症度における、下肢内反角（FTA）と内反スラストの関係は図3のようになった。
いずれの重症度においても、両者は弱い正の相関を示した（ $R=0.47$ ）

D. 考察

1、膝内反モーメントについて

これまで変形性膝関節症と膝内反モーメントの関係については、数多くの研究がありいずれも重症度や下肢荷重軸（FTA）と膝内反モーメントの間に強い相関が見られることを示している。すなわち、片脚起立時前額面において膝を内反するモーメント（トルク）は、膝関節の内側コンパートメントにかかる負荷の指標である(Andriacchi TP, Orthop Clin North Am 25:395-403, 1994)、内反型変形性関節症では重症度（K-L分類）と高い相関($R=0.6-0.68$)し、血清 HA とは相関せず (Sharma L et al, Arthritis & Rheuma 41:1233-1240, 1998)、K-L分類 2-3度のOAにおいて健常者よりモーメント大きい(Baluinas AJ, et al. Osteoarthritis & Cartilage 10:573-579, 2002)、重症度（K-L分類）・痛みと相関あり、FTAと最も相関($R=0.74$) (Hurwitz DE et al, J Orthop Res 20:101-107, 2002) などがある。さらに、疾患の進行を予測する因子を研究しているものでは、モーメントの大きいものは6年後にOAが進行する(Miyazaki T, et al, Ann Rheum Dis 61:617-622, 2002)としている。さらに、治療法の評価として、HTO（高位脛骨骨切術）術前・術後で比較（平均 follow up 3.2年）し、術後は有意に減少する、術前モーメントの大きい症例ではHTO術後成績不良(Prodromos C, et al, JBJS Am 67: 1188-1194, 1985)、足底板

により膝内反モーメント減少、距骨下外反モーメント増加する、ただし症例によっては逆の効果もみられる(Kakihara W, et al, Arch Phys Med Rehab 86:1465-1471, 2005)、足底板により K-L 分類 1 度、2 度でモーメント有意に減少する(Shimada S, et al. Arch Phys Med Rehab 87:1436-1441, 2006)などの研究がある。さらに我々のグループでも、裸足・外側楔状足底板のみ・外側楔状足底板+足関節バンド固定の 3 種類の治療効果を比較し、裸足に比べ外側楔状足底板では膝内反モーメントが平均 7% 減少、外側楔状足底板+足関節固定型では平均 13% 減少し、治療効果は足関節固定を追加するもので大きいことを示した。(Kuroyanagi Y et al. Osteoarthritis & Cartilage 15:932-936, 2007)

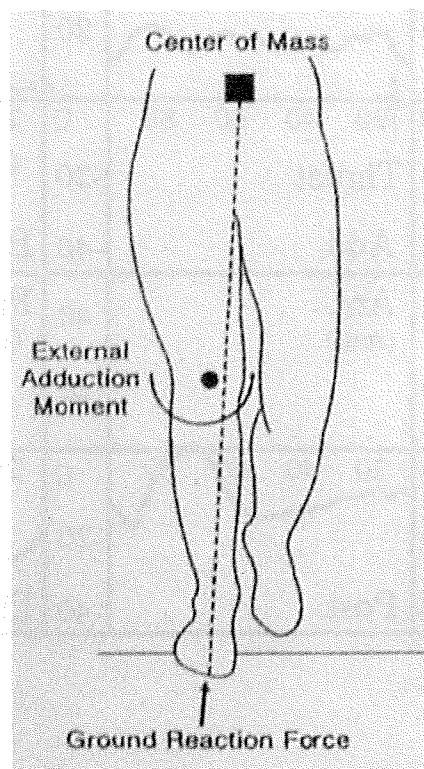


図6 膝内反モーメントと重心位置 (Andriacchi TP, Orthop Clin North Am 25:395-403, 1994)

すなわち、膝内反モーメントは、荷重により膝が内反（O脚変形）する方向に加わるトルクであるため、内反変形を有する変形性膝関節症では変形が重度となるほどモーメントアームの増加によりモーメントが増大し、疾患特異性の高いパラメータとなる。

今回の研究においても、膝内反モーメントは疾患重症度（K L 分類）および下肢アライメント（F T A）と有意な相関を認め、有用な動的パラメータであることが裏付けられた。

2、膝内反スラストについて

変形性膝関節症の歩行時にみられる膝の外側への異常運動は、古賀らにより加速度計を用いて定性的な評価が行われた。これによると、変形性膝関節症患者の歩行・立脚初期にみられる、膝の急速な脛骨の内反運動を 'lateral thrust' と定義している (図7)。

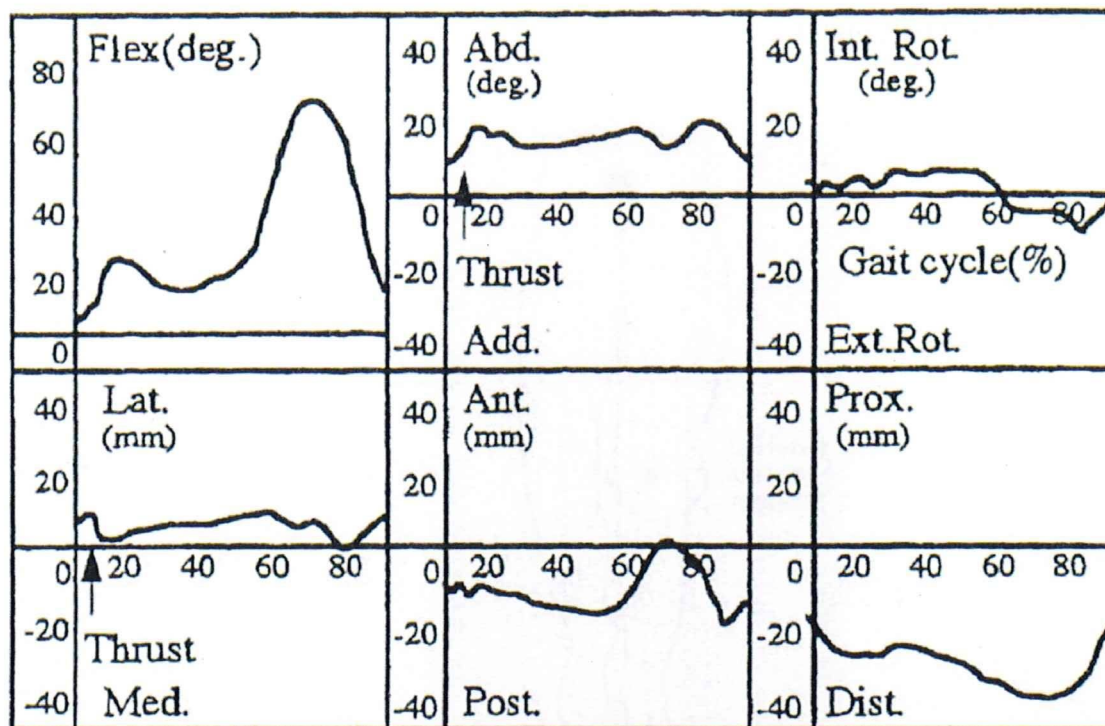


図7 変形性膝関節症における 'lateral thrust'

(Koga Y. Three-dimensional knee motion analysis for the pathogenesis knee osteoarthritis, Biomedical Materials and Engineering 8: 197-205, 1998)

一方、Chang らは同様の現象を、'Varus Thrust (内反スラスト)' と定義し、この異常運動は変形性膝関節症の重症度が増す程高率にみられることを示した (図8)。

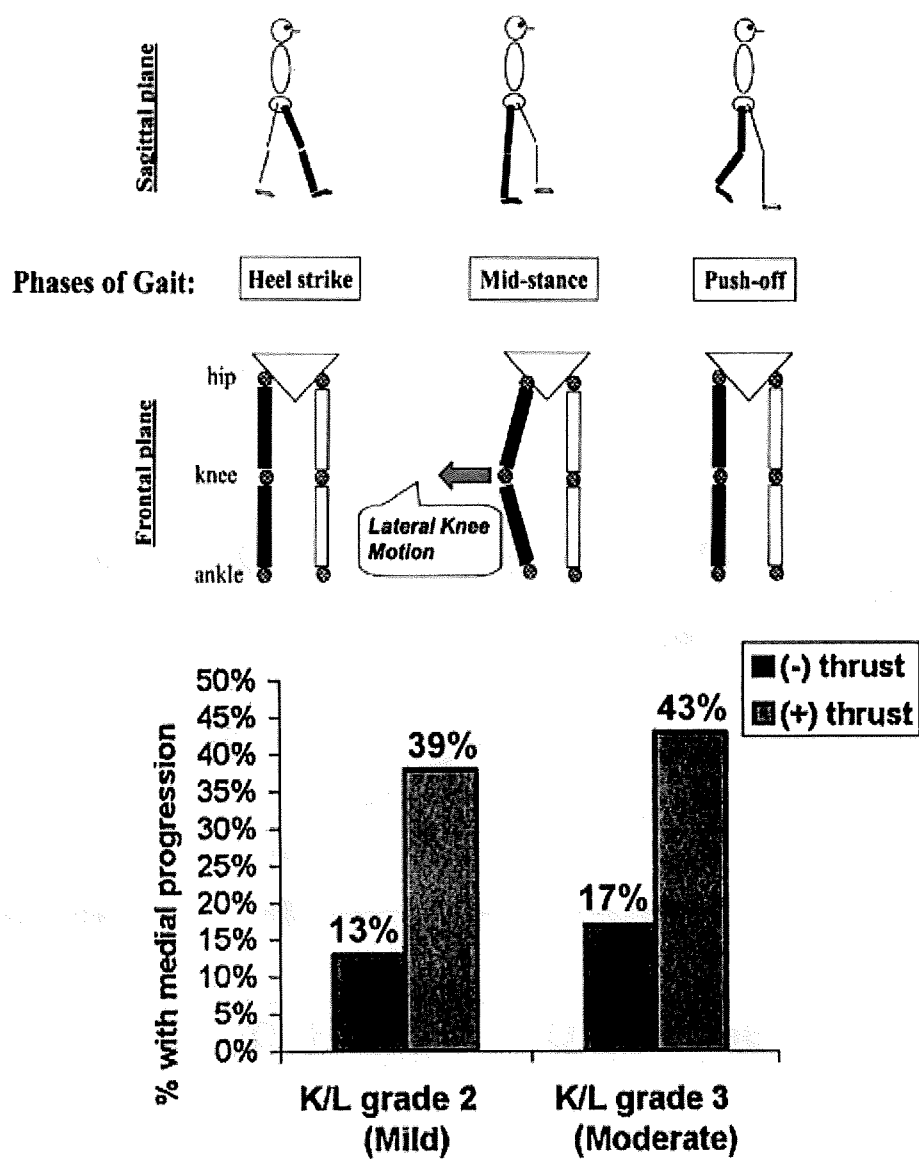


図8 'Varus Thrust'と重症度の関係

(Chang A, et al. Thrust during ambulation and progression of knee osteoarthritis. ARTHRITIS & RHEUMATISM 50, No. 12, pp 3897–3903, 2004)

さらに Takemae らは脛骨高位骨切術の前後で Lateral Thrust の有無を調査し、手術により lateral thrust が有意に減少することを示している (図9)。