慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	後十字靭帯単独不全膝の病態と症状実現に関する臨床的, 生体力学的研究
Sub Title	
Author	磐田, 振一郎(Iwata, Shinichiro) 戸山, 芳昭(Toyama, Yoshiaki)
Publisher	慶應医学会
Publication year	2007
Jtitle	慶應医学 (Journal of the Keio Medical Society). Vol.84, No.4 (2007. 12) ,p.T39- T55
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	学位論文
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00069296-20071201-0039

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

慶應医学・84(4)：T39～T55，2007

学位論文

後十字靭帯単独不全膝の病態と症状出現に関する臨床的，生体力学的研究

慶應義塾大学医学部整形外科学教室
（指導：戸山芳昭）
磐田振一郎（いわた しんいちろう）

（平成19年8月9日受付）

学位審査要旨

膝後十字靭帯（PCL）単独損傷では，大きな膝後方不安定性を認めても患者の愁訴や機能障害を生じることは少ないとされてきたが，近年，動作中に膝崩れ現象（giving-way）を訴える例の少なくないことが明らかとなった．本研究では階段降下動作に注目し，PCL単独損傷患者の自覚的不安定感の発現機序について三次元動作解析装置，fluoroscopeによる動作解析とKT-2000，ストレスX線による静的膝不安定性の定量的計測から評価した．その結果，PCL単独損傷患者においてgiving-wayを経験したことがあるGiving-way群と経験のないNon giving-way群間に有意差を認めたのは，45°以下の軽度屈曲位における三次元動作解析での階段降下動作中，立脚前期の膝関節負荷およびKT-2000，ストレスX線での静的不安定性であった．一方，従来PCL損傷膝の不安定性評価が主に行われてきた屈曲約90°においては，fluoroscopeによる評価で，階段降下中，遊脚初期にはGiving-way群，Non giving-way群ともに異常な後方不安定性を認めたが，その程度には両群間に有意差を認めなかった．以上の結果より，軽度屈曲位での膝関節不安定性，力学的異常がPCL単独不全患者の自覚症状発現と関係することが明らかとなった．したがって，PCL単独不全患者の評価では，軽度屈曲位での不安定性に注目すべきであること，また，その評価がPCL単独損傷に対する外科的再建術の適応を決定する上で重要な指標となることが示唆された．

審査では，まずfluoroscopeの解析方法についての質問がなされた．撮影時間を0.6 m秒と可能な限り短縮することで動作中の画像のブレを少なくし，予備実験で機器の正確なセッティングにより，解析に十分な視野および解像度を確保したと回答された．次にMRIによる動作解析は可能か，そして有用であるかとの質問がなされた．装置のセッティングの問題により，再現できる動作は限られ，また自然な動作の再現も困難ではあるが，靭帯の形状などを描出できるMRIによる動的解析は将来的に有用であり，最近，MR fluoroscopeによる動作解析の報告も散見されるため，今後の検討課題であると回答された．最後に階段降下動作中にみられた力学的異常発現のメカニズムについての質問がなされた．過去に指摘されていた大腿四頭筋などの膝周囲筋筋力の影響ではなく，動作中でも可能な限り伸展位を保つことで代償をおこなっている事が力学的データの異常に反映していると回答された．

以上のように，本研究はさらに検討されるべき点を残しているものの，PCL単独損傷膝において，軽度屈曲位での不安定性が自覚症状発現と関与し，臨床的にPCL損傷に対する治療方針確立に有用である点で有意義であると評価された．

Key Words：posterior cruciate ligament deficient knees, subjective symptoms, knee mechanics, motion analysis

---

本論文は，Iwata S, Suda Y, Nagura T, Matsumoto H, Otani T, Andriacchi TP, Toyama Y. Clinical disability in posterior cruciate ligament deficient patients does not relate to knee laxity, but relates to dynamic knee function during stair descending. Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy. 2007；15(4)：335-342. の一部，Iwata S, Suda Y, Nagura T, Matsumoto H, Otani T, Toyama Y. Posterior instability near extension is related to clinical disability in isolated posterior cruciate ligament deficient patients. Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy. 2007：15(4)：343-349. の一部，Iwata S, Suda Y, Nagura T, Matsumoto H, Otani T, Toyama Y. Dynamic instability during stair descent in isolated PCL-deficient knees -What affects abnormal posterior translation of the tibia in PCL-deficient knees?- Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy. 2007；online. の一部を許可を得て引用した．

緒　言

膝後十字靭帯（posterior cruciate ligament；以下PCL）は膝関節内に存在する靭帯の中で最大の強度を持ち，大腿骨に対する脛骨の後方移動を制御する靭帯である[1]．このためPCLが損傷されると脛骨が大腿骨に対して過剰に後方変位する後方不安定性が出現する．PCL損傷に他の膝靭帯損傷が合併する複合靭帯損傷の場合は，多方向に重度の他覚的不安定性が出現し，自覚的不安定感も強く認めるため，陳旧例ではPCL再建術の適応となる例が多い[1]．一方，PCL単独損傷では，徒手検査など静的環境下では他覚的に大きな膝後方不安定性を認めても患者の愁訴は乏しく，日常生活動作（activities of daily living；以下ADL）やスポーツ活動に障害を生じることは少ないとされてきた[2-5]．このため，単独損傷でも再建術が選択される頻度の高い膝前十字靭帯（anterior cruciate ligament；以下ACL）損傷に対し，陳旧性のPCL単独損傷に対しては長らく大腿四頭筋筋力増強訓練を中心とした保存的治療が第一選択とされてきた[1,2,6,7]．しかし近年，臨床症状に着目した研究により，PCL単独損傷例でもADL，特に階段降下動作中に，動的な膝不安定性に起因すると考えられている膝崩れ現象（giving-way）を訴える例の少なくないことが明らかとなり，そのような例に再建術が選択される機会が増えている[3,6,8]．これまでの解剖学的および生体力学的検討により，PCLは膝伸展位に比べ屈曲位でより強い脛骨の後方制動機能を有することが明らかとなっている[9,10]．このため，PCL単独損傷例における自覚症状やADL，スポーツ活動への復帰と膝屈曲位での他覚的後方不安定性との関連に注目した臨床研究が散見されるが，両者に明らかな関連性を見出せなかったとする報告が多い[4,8]．つまり，PCL単独損傷患者における自覚症状，特にgiving-wayの発現には，膝屈曲位での静的な不安定性とは別の要因の関与が考えられるが，その詳細については未だ明らかにされていない．このため，陳旧性PCL単独損傷患者におけるgiving-wayの発現機序を解明することは，同疾患における治療方針を決定する上で極めて重要である．

一方，これまで徒手検査，ストレスX線写真やKT-2000などの計測機器を用いて静的環境下で検出される膝関節の他覚的不安定性（静的不安定性）の程度が膝靭帯損傷の診断や治療効果の判定に広く用いられてきた．しかし荷重や筋力の影響を極力抑えて行われるこれらの検査法では，ADLやスポーツ活動中に生じる機能障害を直接評価することは難しい．そこで近年，膝関節の動作を解析する目的で種々の動作解析法が開発され，運動中の関節異常可動性の有無と程度，それを代償する動作の分析が進められている[11-13]．最近，ACL損傷膝に対しては体表に貼付された光学系マーカーとその動きを捉える特殊カメラ，床反力計からなる三次元動作解析装置を用いた動作解析が[11,12]，また人工関節置換膝に対しては関節摺動面の動きを捉えるためfluoroscopeを用いた膝関節X線連続撮影による動作解析[13]が行われている．しかしPCL損傷膝の動作解析に関する報告は極めて少ない．

本研究では，PCL単独損傷患者で比較的愁訴の多い階段降下動作に注目し，giving-wayの有無によりPCL損傷患者を2群に分け，それぞれに三次元動作解析装置による動作解析とfluoroscopeによる動作解析を行い，giving-wayの有無と膝動態の関係について検討した．また従来のPCL損傷患者に対する不安定性の評価は膝屈曲位を中心に行われていたことから，KT-2000およびストレスX線による後方押し出し負荷を加えた際の膝後方不安定性を屈曲位のみならず伸展位付近でも計測し，giving-wayの有無とより広い可動域での静的膝不安定性との関連についても分析した．

研究1：光学系マーカーによる三次元動作解析

1. 目　的

本研究では，PCL単独損傷患者を階段降下動作中にgiving-wayを経験したことのある群と経験のない群に分け，三次元動作解析装置を用いて，健常者と比較しながらgiving-wayの有無が階段降下動作中の膝動態（関節屈曲角度，屈曲モーメント，関節に加わる後方外力）に及ぼす影響について検討した．また平地歩行，階段のぼり動作についても同様の検討をおこなった．

2. 対象および方法

PCL単独損傷患者22名および膝関節に既往症のない健常者20名を対象とした．患者群は全例受傷後6ヵ月以上経過しており（6～156ヵ月，平均54.3ヵ月），徒手検査およびMRIにてPCL単独損傷と診断され，その他の膝靭帯損傷や半月板損傷は認めていない．またX線およびMRI所見上明らかな変形性膝関節症性変化を認めるものは除外した．PCL損傷群をさらに，階段降下動作中にgiving-wayを経験したことのあるGiving-way群10名と経験のないNon giving-way群12名の2群に分けた．動作解析に先立ち，PCL損傷患者にはADL上の機能不全の程度を示すLysholm knee score[14]に基

表1　三次元動作解析被験者の臨床データ

	PCL 損傷患者		健　常　群
	Giving-way 群	Non giving-way 群	
対象者内訳	10（男性5，女性5）	12（男性9，女性3）	20（男性10，女性10）
年齢（歳）	33.5±7.5	26.2±7.4	28.7±4.3
身長（cm）	165.7±7.8	171.5±7.0	164.6±9.0
体重（kg）	61.9±12.36	71.0±11.2	58.8±11.2
受傷後期間（月）	60.6±59.1	48.5±48.4	
Modified Lysholm score	*53.7±8.8	90.7±12.5	
等運動性筋収縮（患健側差；%）			
（大腿四頭筋）　60 deg/sec	89.4±17.0	95.5±9.3	
180 deg/sec	89.3±18.1	92.4±9.0	
300 deg/sec	88.7±11.6	95.8±8.2	
（ハムストリングス）　60 deg/sec	94.0±23.7	92.8±10.6	
180 deg/sec	97.4±14.6	93.0±17.3	
300 deg/sec	90.9±17.7	96.9±17.6	

* Giving-way 群－Non giving-way 群間に有意差あり（$p<0.05$）
（Iwata, S et al：Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 15 (4)：335-342, 2007. の Table 1 を許可を得て転載，改変）

づいてアンケート調査をおこなった．調査は自覚症状（疼痛，膝不安定感，腫脹，引っかかり感）の程度，跛行の程度，支持の必要性，階段降下動作，スクワット動作中の機能障害についておこなったが，本研究では階段降下動作に着目したため，Lysholm knee score の "stair climbing" の項目を "stair descent" に代え，modified Lysholm score として判定した．その結果，Giving-way 群および Non giving-way 群間に有意差（$p<0.05$；unpaired t-test）を認めたが，項目別に検討すると両者の差は自覚症状では膝不安定感，機能障害では階段降下動作によるもので，疼痛，腫脹，引っかかり感およびスクワット動作中の機能障害については両者で明らかな差を認めなかった．また PCL 損傷患者における大腿四頭筋とハムストリングスの筋力を，Biodex dynamometer（Biodex Corp, New York, USA）を用いた等運動性収縮（60°/秒，180°/秒，300°/秒）時の最大トルクの患健側差で評価した．その結果，Giving-way 群および Non giving-way 群間でいずれの筋力にも有意差を認めなかった（大腿四頭筋；60°/秒；$p=0.08$，180°/秒；$p=0.61$，300°/秒；$p=0.07$，ハムストリングス；60°/秒；$p=0.88$，180°/秒；$p=0.56$，300°/秒；$p=0.46$; unpaired t-test）．なお，年齢，身長，体重には Giving-way 群，Non giving-way 群および健常群間で有意差（年齢；$p=0.27$，身長 $p=0.53$，体重 $p=0.06$；ANOVA）を認めなかった（表1）．

三次元動作解析では，被験者の腸骨稜，大腿骨大転子，膝関節外側関節裂隙，足関節外果，踵骨外側，第5中足骨骨頭の6ヵ所に光学系反射マーカー（CFTC, Chicago, IL, USA）を両面テープにて貼付し，平地歩行，階段のぼり，階段降下動作を光学系カメラ（Pro-Reflex MCU-120, Qualysis, Savedalen, Sweden）3台で撮影し，動作中の床反力を床反力計（120 Hz, Type AM6110, Bertec, Colombus OH, USA）を用いて計測した（図1）．カメラと床反力計による計測にて膝関節屈曲角度，膝関節屈曲モーメント，膝関節（脛骨関節面）に加わる外力の前後成分を算出した．膝関節モーメントおよび外力は，下肢関節の位置，身長，体重，床反力から Inverse Dynamics Approach[12] を用いて算出した．なおモーメントは身長と体重で標準化し（%体重×身長），外力は体重で標準化した値（%体重）とした．被験者は 10 m の計測用通路での平地歩行，高さ 21 cm，幅 25 cm の階段2段での階段のぼりおよび降下動作をおこなった．歩行速度は被験者個々人が通常おこなっている速度とした．最低5回以上の練習のあとに2回の計測がおこなわれ，2回目のデータをサンプリングした．歩行速度の個人差を各群間で比較するため，各々の動作における全立脚期時間を計測した．平地歩行では遊脚後期から全立脚期，全遊脚期のデータを解析し，階段昇降動作では階段2段の1段目の接地直前から，全立脚期，遊脚期前半を解析した．平地歩行，階段のぼりおよび降下動作での膝関節屈曲角度，屈曲モーメントおよび関節後方外力は Giving-way 群，Non giving-way 群および健常群間で分散分析法（ANOVA）を用いて比較し，危険率5%未満を有意差ありとした．

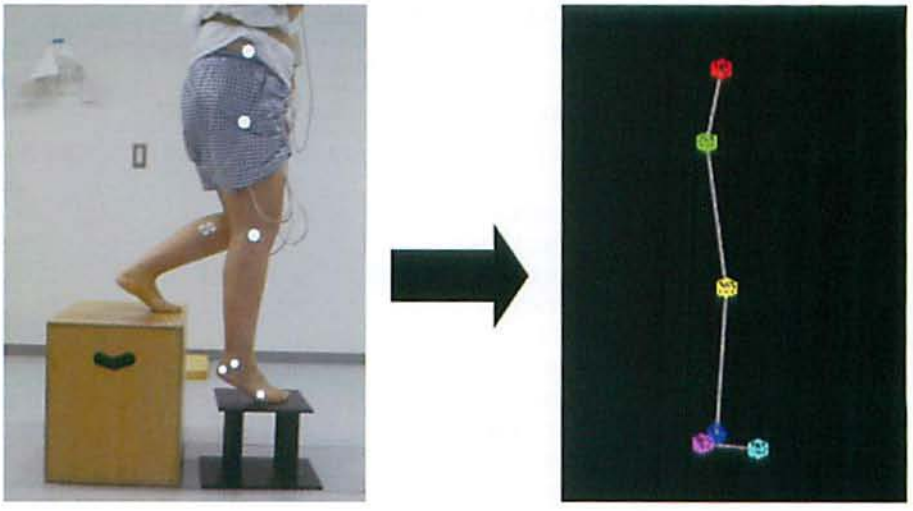

図1　6マーカーによる三次元動作解析
日常生活動作を撮影し（左図），コンピュータへ出力する（右図）

表2　平地歩行中の力学データ

	立脚前期のピーク値			立脚後期のピーク値		
	Giving-way 群	Non giving-way 群	健常群	Giving-way 群	Non giving-way 群	健常群
膝関節屈曲角度（°）	21.8±9.0	19.4±4.6	20.1±9.6	59.4±9.6	63.0±4.8	63.9±3.0
屈曲モーメント（%体重×身長）	1.8±1.2	2.9±1.2	2.9±2.2	1.9±1.5	2.1±1.2	2.4±1.0
後方外力（%体重）	20.4±6.9	19.8±4.2	21.4±9.6	36.2±7.3	36.4±4.4	38.4±5.6

（Iwata. S et al：Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 15(4)：335-342, 2007. の Table 2 を許可を得て転載，改変）

3. 結　果

(a)　平地歩行

平地歩行動作中，全群で立脚前期と後期に膝屈曲角度のピークを認めたが，双方のピーク値とも Giving-way 群，Non giving-way 群および健常群間に有意差はなかった．屈曲モーメントについても立脚前期に正のピークを，後期に負のピーク（伸展モーメント）を認めたが，3群間に有意差はなかった．後方外力についても立脚前期と後期にピークを認めたが，3群間に有意差はなかった（表2）．また全立脚期時間の平均値は Giving-way 群，Non giving-way 群，健常群でそれぞれ 0.65±0.07 秒，0.64±0.10 秒，0.62±0.03 秒で3群間に有意差はなかった．

(b)　階段のぼり

全群で立脚初期に膝屈曲角度のピークを認め，その後漸減した．立脚初期でのピーク値は Giving-way 群および健常群間に有意差を認めたが，Giving-way 群と Non giving-way 群間および Non giving-way 群と健常群間には有意差はなかった．屈曲モーメントについては立脚初期に正のピーク，後期に負のピーク（伸展モーメント）を認めた．立脚初期でのピーク値では Giving-way 群と健常群間に有意差を認めたが，Giving-way 群と Non giving-way 群間および Non giving-way 群と健常群間には有意差はなかった．また，立脚後期のピーク値では3群間に有意差を認めなかった．後方外力についても各群において立脚初期および後期にピークを認めた．立脚初期のピーク値では3群間に有意差を認めなかったが，後期のピーク値では Giving-way 群と健常群間および Non giving-way 群と健常群間に有意差を認めたが，Giving-way 群と Non giving-way 群間には有意差はなかった（表3）．全立脚期時間は Giving-way 群，Non giving-way 群，健常群でそれぞれ 1.36±0.30 秒，1.01±0.10 秒，1.10±0.10 秒で3群間に有意差はなかった．

表3　階段のぼり動作中の力学データ

	立脚前期のピーク値			立脚後期のピーク値		
	Giving-way 群	Non giving-way 群	健常群	Giving-way 群	Non giving-way 群	健常群
膝関節屈曲角度（°）	61.1±4.4	61.7±6.4	65.8±4.3			
屈曲モーメント（%体重×身長）	4.4±1.3	4.9±1.7	5.6±1.6	−1.8±1.2	−2.6±1.2	−2.3±1.5
後方外力（%体重）	35.8±7.2	35.0±8.7	41.2±6.6	27.1±8.4	27.6±7.0	32.2±8.8

* $p<0.05$
（Iwata. S et al：Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 15(4)：335-342, 2007. の Table 3 を許可を得て転載，改変）

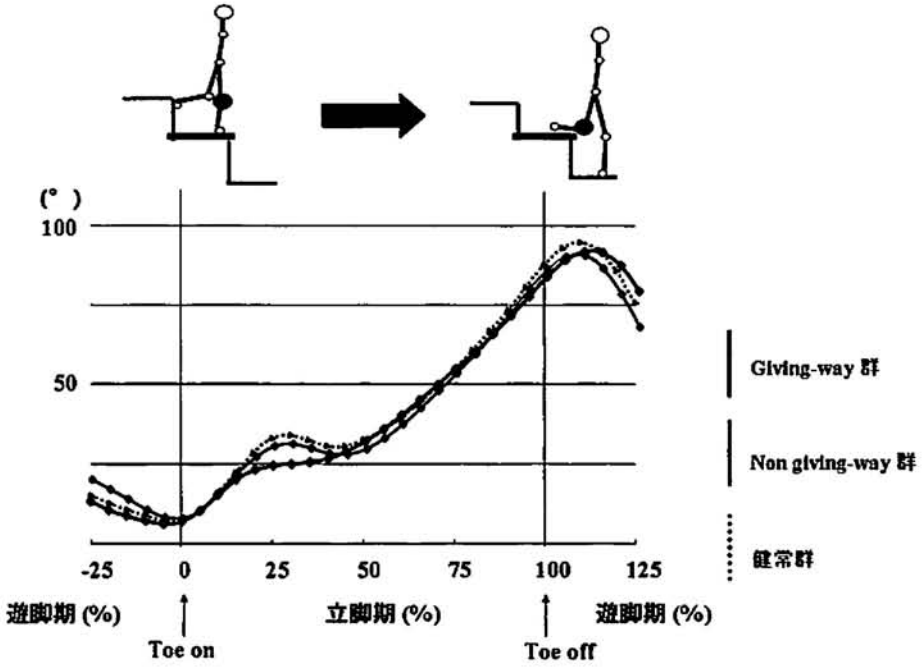

図2　階段降下中の屈曲角度変化
（Iwata. S et al：Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 15(4)：335-342, 2007. の Figure 1 を許可を得て転載，改変）

(c)　階段降下

全群で立脚初期と遊脚初期に膝屈曲角度のピークを認めた（図2）．Giving-way 群における立脚初期のピーク値は Non giving-way 群および健常群より有意に小さかった．また Non giving-way 群と健常群間には有意差を認めなかった．遊脚初期のピーク値については各群間に有意差を認めなかった（表4）．屈曲モーメントおよび後方外力については各群とも立脚初期，立脚後期にピークを認める同様のパターンを示した（図3，4）．屈曲モーメントおよび後方外力ともに Giving-way 群の立脚初期でのピーク値は Non giving-way 群，健常群より有意に小さかった．また Non giving-way 群と健常群間には有意差を認めなかった．立脚後期でのピーク値については各群間に有意差はなかった（表4）．全立脚期時間は Giving-way 群，Non giving-way 群，健常群でそれぞれ 1.20±0.50 秒，0.90±0.10 秒，0.90±0.10 秒で各群間に有意差はなかった．また全ての被験者について，階段降下動作計測中に giving-way を発生した症例はなかった

表4　階段降下動作中の力学データ

	立脚前期のピーク値			立脚後期のピーク値		
	Giving-way 群	Non giving-way 群	健常群	Giving-way 群	Non giving-way 群	健常群
膝関節屈曲角度（°）	24.4±6.8	32.1±5.1	34.9±7.9	92.8±10.0	93.2±4.0	96.1±6.8
屈曲モーメント（%体重×身長）	1.2±1.7	4.0±1.6	4.7±2.4	6.6±1.4	7.1±1.5	7.7±1.8
後方外力（%体重）	26.3±13.0	38.7±7.7	42.4±11.8	58.7±9.9	56.5±6.7	63.4±11.8

* $p<0.05$
（Iwata. S et al：Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 15(4)：335-342, 2007. の Table 4 を許可を得て転載，改変）

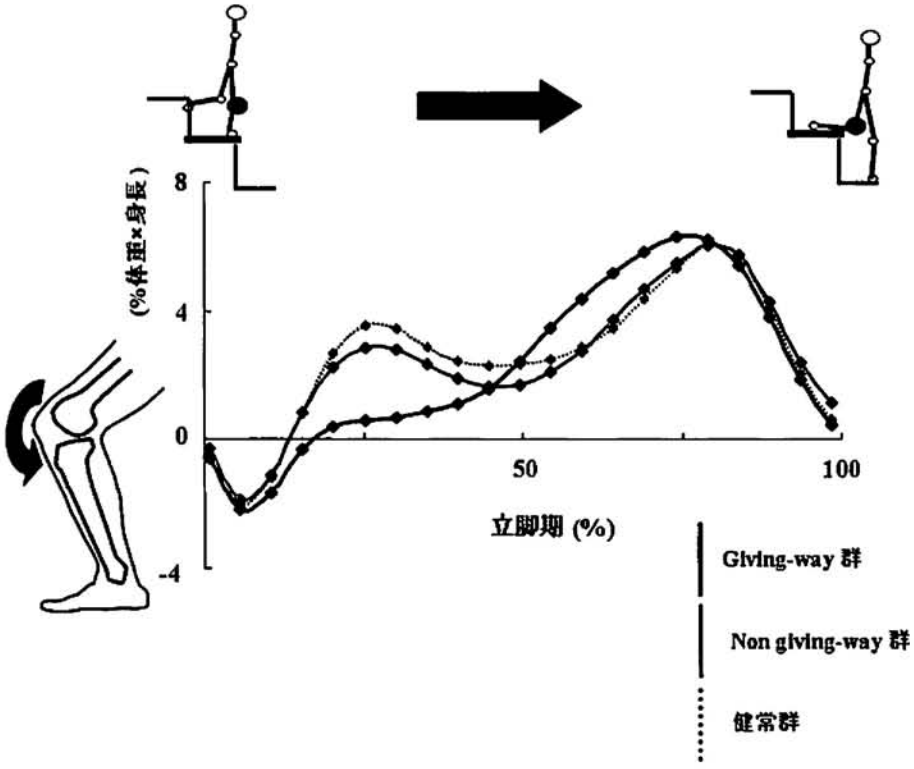

図3　階段降下中の屈曲モーメントの変化
（Iwata. S et al：Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 15(4)：335-342, 2007. の Figure 2 を許可を得て転載，改変）

4. 小　括

平地歩行と階段のぼり動作では，PCL 単独損傷患者 Giving-way 群と Non giving-way 群間に運動力学的な相違を認めなかった．しかし階段降下動作では Giving-way 群と Non giving-way 群間で立脚初期における膝屈曲角度，屈曲モーメントおよび後方外力のピーク値に有意差を認めた．すなわち，Giving-way 群では立脚初期に膝の屈曲を小さくすることで脛骨への後方外力をおさえていた．一方，Non giving-way 群と健常群の間には階段降下動作中運動力学的な相違を認めなかった．

以上より平地歩行，階段昇降動作の中では階段降下動作が最も PCL 単独損傷患者の自覚的不安定感を反映す

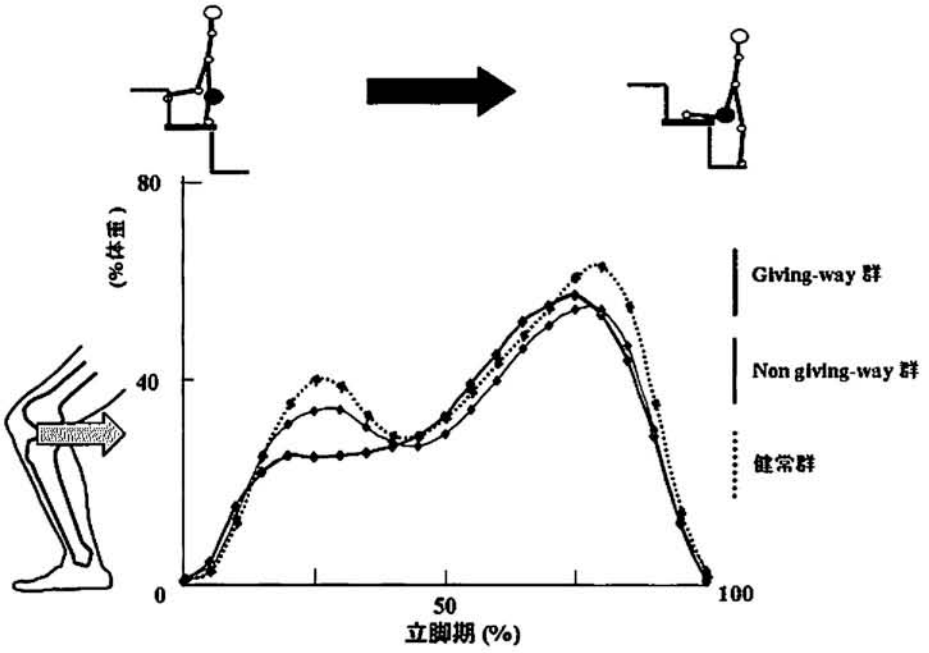

図4　階段降下中の後方外力の変化
(Iwata. S et al：Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 15(4)：335-342, 2007. の Figure 3 を許可を得て転載，改変)

る動作であると確認されたため，以下の研究2では階段降下動作についてのみ解析をおこなった．

研究2：Fluoroscope による動作解析

1. 目　的

本研究では研究1同様 PCL 単独損傷患者を階段降下動作中に giving-way を経験したことのある群と経験のない群に分け，fluoroscope を用いて，健常者と比較しながら giving-way の有無が階段降下動作中の膝動態（大腿骨に対する脛骨の後方移動量）に及ぼす影響について検討した．

2. 対象および方法

PCL 単独損傷患者 14 名および膝関節に既往歴のない健常者 10 名を対象とした．患者群は全例受傷後 6 ヵ月以上経過しており（6～156ヵ月，平均 54.2ヵ月），徒手検査および MRI にて PCL 単独損傷と診断され，研究1同様その他の膝靭帯損傷，半月板損傷，明らかな変形性関節症性変化を認めるものは除外した．PCL 損傷患者14名を階段降下動作中に giving-way を経験したことのある Giving-way 群 9 名と経験のない Non giving-way 群 5 名の 2 群に分けた．動作解析に先立ち，PCL 損傷患者には ADL 上の機能不全の程度を評価するため，研究1同様，modified Lysholm knee score[14] に基づいてアンケート調査をおこなった．その結果，Giving-way 群および Non giving-way 群間に有意差（$p<0.05$；unpaired t-test）を認めたが，項目別に検討すると両者の差は自覚症状では膝不安定感，機能障害では階段降下動作によるもので，疼痛，腫脹，引っかかり感およびスクワット動作中の機能障害については両者で明らかな差を認めなかった．また PCL 損傷患者における大腿四頭筋とハムストリングスの筋力を，研究1同様，Biodex dynamometer（Biodex Corp, New York, USA）を用いた等運動性収縮（60°/秒，180°/秒，300°/秒）時の最大トルクの患健側差で評価した．その結果，Giving-way 群および Non giving-way 群間でいずれの筋力にも有意差を認めなかった（大腿四頭筋；60°/秒；$p=0.07$，180°/秒；$p=0.41$，300°/秒；$p=0.07$，ハムストリングス；60°/秒；$p=0.80$，180°/秒；$p=0.85$，300°/秒；$p=0.43$；unpaired t-test）．なお，年齢に関して Non giving-way 群中に 13 歳の被験者を含んだため Giving-way 群，Non giving-way 群，健常群間で差を認めたが（$p<0.05$），身長，体重については有意差を認めなかったため，同被験者のデータもサンプリングした（身長；$p=0.29$，体重；$p=0.10$；ANOVA）（表5）．

本研究では仮設の階段段（高さ 27 cm，幅 25 cm）

表5　Fluoroscopeによる動作解析での被験者の臨床データ

		PCL損傷患者		健常群
		Giving-way群	Non giving-way群	
対象者内訳		9（男性4，女性5）	5（男性4，女性1）	10（男性4，女性6）
年齢（歳）		33.5±7.5	26.2±7.4	33.6±6.6
身長（cm）		165.7±8.5	172.0±6.2	165.1±8.7
体重（kg）		61.9±12.3	66.5±12.4	57.1±10.0
受傷後期間（月）		52.2±57.1	57.8±57.2	
Modified Lysholm score		*58.0±7.4	94.0±8.2	
等速動性筋収縮（患健側差：%）				
（大腿四頭筋）	60 deg/sec	87.8±14.1	99.4±10.3	
	180 deg/sec	90.8±17.0	94.5±11.9	
	300 deg/sec	91.6±10.9	99.4±7.7	
（ハムストリングス）	60 deg/sec	92.7±22.8	87.2±9.4	
	180 deg/sec	94.3±9.4	91.2±19.1	
	300 deg/sec	87.1±12.3	96.0±22.6	

* Giving-way群－Non giving-way群間に有意差あり（$p<0.05$）

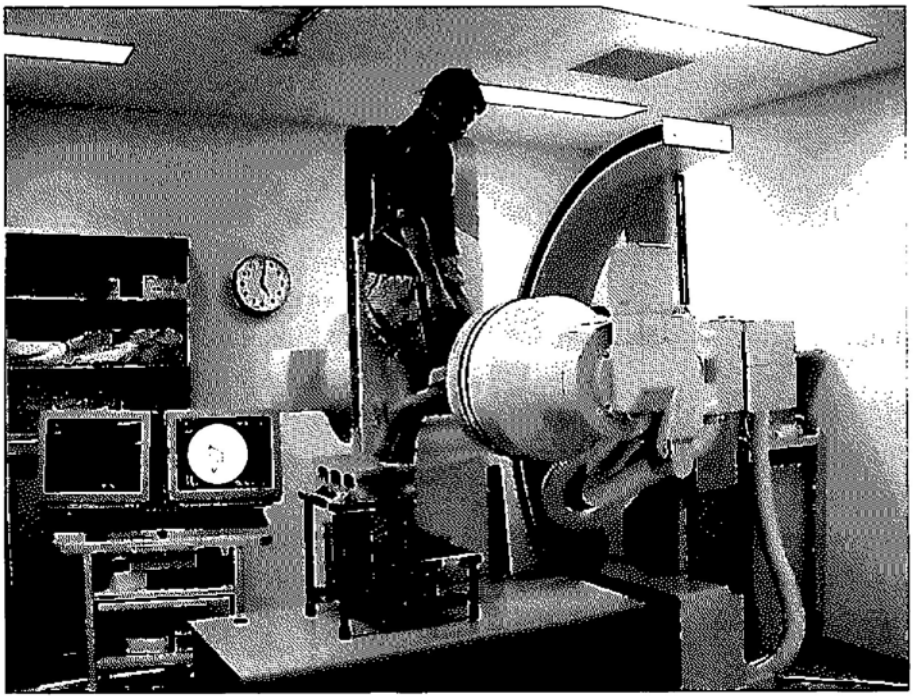

図5　Fluoroscopeを用いた動作解析
(Iwata. S et al：Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc in press. の Figure 1 を許可を得て転載，改変)

を降下する際の膝関節側面像をfluoroscope（IVS-100, C-vision；Shimadzu, Tokyo, Japan）にて連続的（7.5 Hz）に撮影した（図5）．撮影は階段1段目に接地する前の遊脚中期から1段目toe off後の遊脚中期までおこない，最低5回の練習の後，本撮影を施行した．歩行速度は被験者個々人が通常行っている速度とした．得られた画像は解析用のコンピュータへ出力，保存した．

Fluoroscopeで連続的に撮影された画像の中で，立脚初期では膝屈曲20°に最も近い画像，立脚中期では屈曲45°に最も近い画像，立脚末期では屈曲90°に最も近い画像，遊脚初期では屈曲90°に最も近い画像，遊脚中期では屈曲45°に最も近い画像，遊脚末期では屈曲0°に最も近い画像の6枚を採用した（図6-a, b）．実際に解析に使用された画像における屈曲角度の平均を

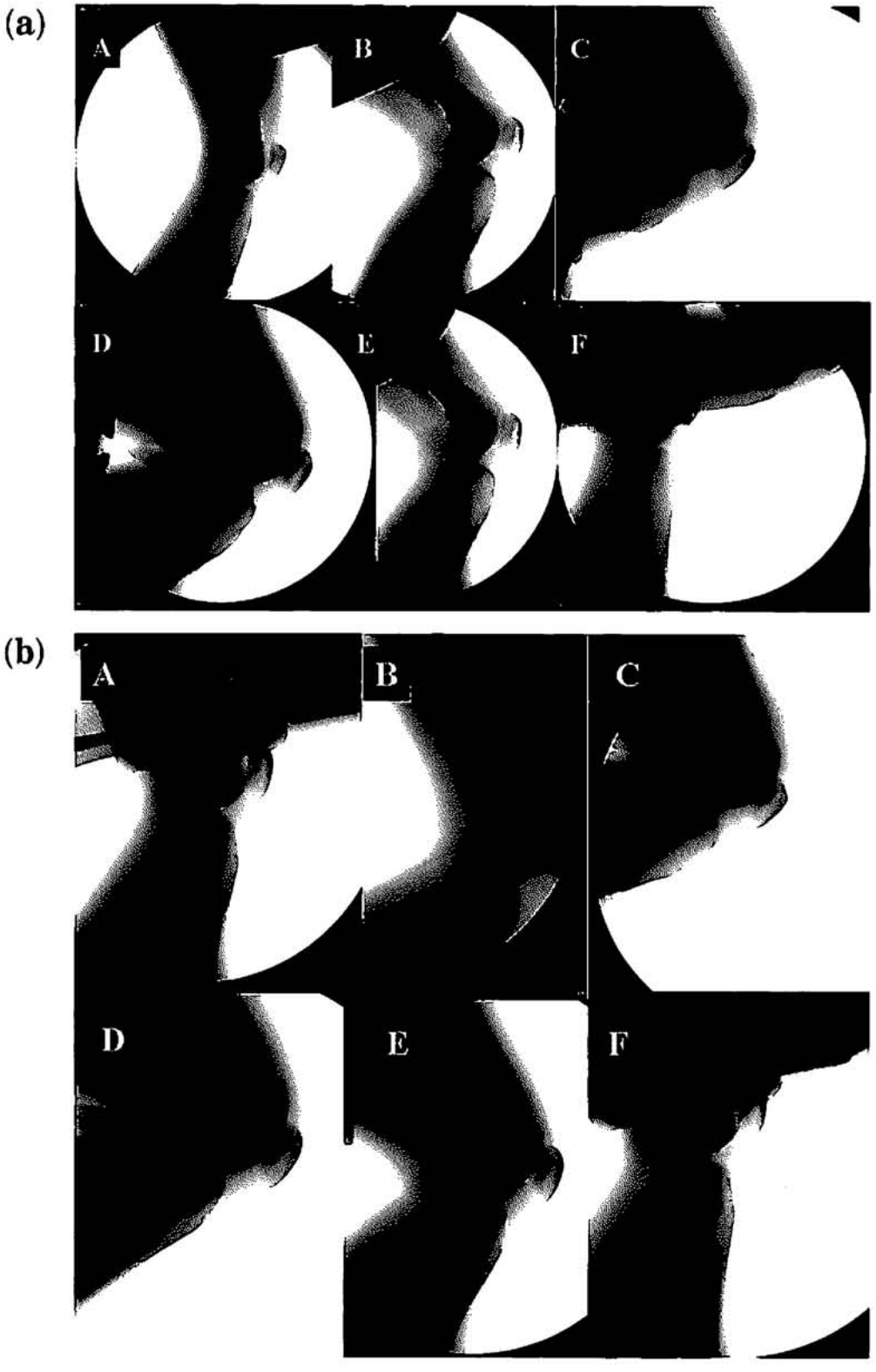

図6　Fluoroscope で撮影された階段降下中の各位相での膝関節側面像
A：立脚初期（屈曲 20°），B：立脚中期（屈曲 45°），C：立脚末期（屈曲 90°），D：遊脚初期（屈曲 90°），E：遊脚中期（屈曲 45°），F：遊脚末期（屈曲 5°）
6-a：健常膝（38 歳女性），6-b：PCL 単独機能不全膝（25 歳男性）
(Iwata. S et al：Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc in press. の Figure 2 を許可を得て転載，改変)

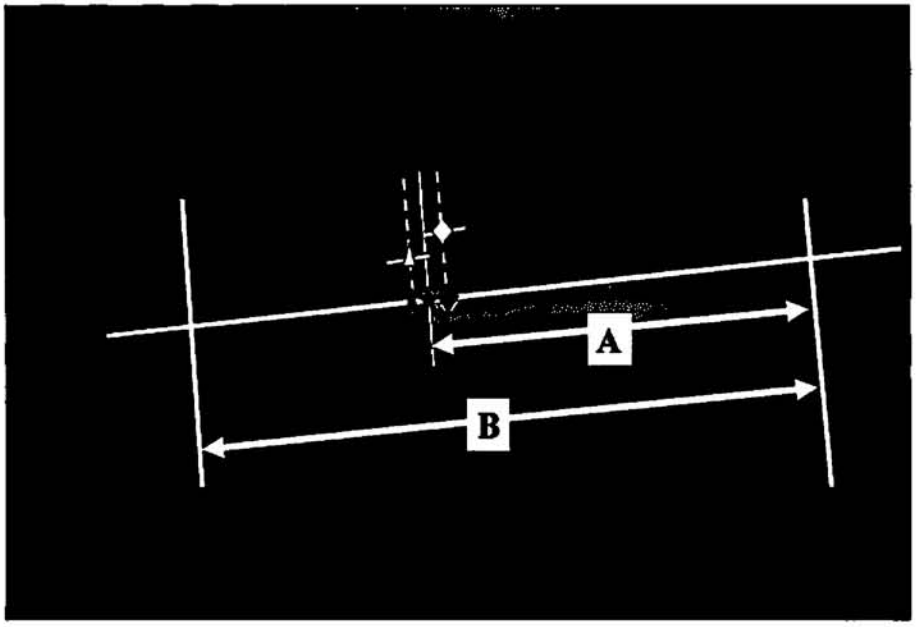

図7　Fluoroscope での画像における脛骨前後移動の評価方法
脛骨内側関節面上の大腿骨内顆，外顆との接点の中点（★）を決定する．同点から脛骨内側関節面後縁までの距離（A）と脛骨関節面の長さ（B）との比で評価した．
(Iwata. S et al：Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc in press. の Figure 3 を許可を得て転載，改変)

Giving-way 群，Non giving-way 群，健常群の3群間で比較すると全ての位相において有意差を認めなかった．（立脚初期では Giving-way 群：20.6±1.7°，Non giving-way 群：20.4±1.3°，健常群20.9±2.5°，立脚中期では Giving-way 群：45.3±1.8°，Non giving-way 群：44.7±1.4°，健常群45.1±1.5°，立脚末期では Giving-way 群：90.7±2.1°，Non giving-way 群：90.9±2.4°，健常群90.7±3.0°，遊脚初期では Giving-way 群：90.4±2.2°，Non giving-way 群：90.4±2.0°，健常群90.3±2.5°，遊脚中期では Giving-way 群：44.9±2.1°，Non giving-way 群：44.4±1.7°，健常群44.6±1.8°，遊脚末期では Giving-way 群：0.6±0.4°，Non giving-way 群：0.6±0.5°，健常群0.3±0.1°）

各側面像から大腿骨に対する脛骨の矢状面における位置（脛骨後方変位量）を以下に述べる村瀬ら[15]による中点計測法の変法（図7）を用いて評価した．本法では最初に大腿骨外側顆および内側顆の最遠位点（図7：△，◇）から最も近い脛骨内側関節面上の2点（図7：▲，◆）を定め，これら2点の中点（図7：★）をとり，この点から脛骨内側関節面後縁までの距離を計測する．次いでその距離の脛骨内側関節面前後長に対する百分率を求め，この値を脛骨後方変位度とした．本法では，大腿骨遠位端の位置を脛骨関節面前後径における比で表すため，X線管球と撮影部位との距離を一定に保つことの難しい動態撮影でも客観的指標として用いることができる．得られた値を立脚期，遊脚期の各位相において Giving-way 群，Non giving-way 群および健常群間で比較した．なお画像の取り込みおよび計測には各々 Digitex image processing equipment（Shimadzu, Tokyo, Japan），IVR Master measurement equipment（Shimadzu, Tokyo, Japan）を使用した．

統計的検討には分散分析法（ANOVA）を用いて比較し，危険率5％未満を有意差ありとした．

3. 結　果

階段降下動作中立脚期の脛骨後方変位度は，初期，中期，末期いずれにおいても3群間に有意な差を認めなかった．一方遊脚期では，初期に Giving-way 群および Non giving-way 群の値が健常群に比べて有意に大きかったが，中期，後期では各群間に明らかな差を認めなかった（図8）．Giving-way 群と Non giving-way 群の間には立脚期，遊脚期全位相を通して有意な差を認めなかった．

4. 小　括

階段降下動作中，遊脚初期に Giving-way 群および Non giving-way 群において健常群よりも脛骨が後方に変位していた．しかし他の遊脚期およびすべての立脚期

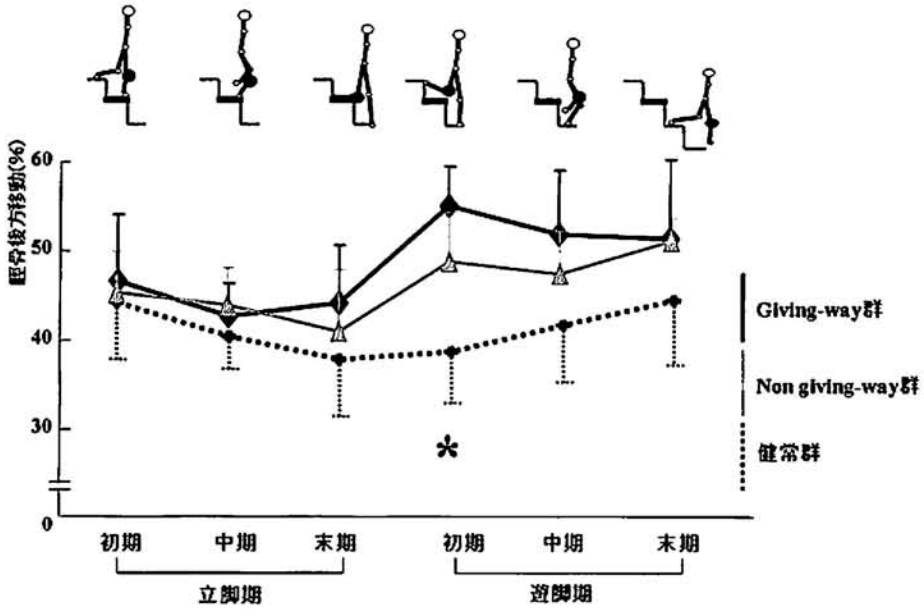

図8　階段降下動作中の各位相での脛骨後方移動の程度
* Giving-way 群－健常群間および Non giving-way 群－健常群間に有意差あり（$p<0.05$）

での脛骨後方不安定性に3群間に有意差を認めなかった．また，全位相を通して Giving-way 群および Non giving-way 群間に有意差を認めなかった．

研究3：KT-2000およびストレスX線計測による静的不安定性の評価

1. 目　的

本研究においても研究1，2同様，PCL 単独損傷患者を階段降下動作中に giving-way を経験したことのある群とない群に分け，KT-2000 およびストレス X 線を用いて様々な屈曲角度での静的な膝後方不安定性の程度を評価し，giving-way の有無と他覚的後方不安定性との関係について検討した．

2. 対象および方法

KT-2000 での計測では PCL 単独損傷患者 24 名および膝関節に既往歴のない健常者 10 名を対象とした．患者群は全例受傷後 6 ヵ月以上経過しており（6～156 ヵ月，平均 50.3 ヵ月），徒手検査および MRI にて PCL 単独損傷と診断され，研究1，2同様その他の膝靭帯損傷，半月板損傷，明らかな変形性関節症性変化を認めるものは除外した．PCL 損傷患者 24 名を階段降下動作中に giving-way を経験したことのある Giving-way 群 12 名と経験のない Non giving-way 群 12 名の2群に分けた（表6）．計測に先立ち，PCL 損傷患者には ADL 上の機能不全の程度を評価するため，研究1，2同様，modified Lysholm knee score[14]に基づいてアンケート調査をおこなった．その結果，Giving-way 群および Non giving-way 群間に有意差（$p<0.05$；unpaired t-test）を認めたが，項目別に検討すると両者の差は自覚症状では膝不安定感，機能障害では階段降下動作によるもので，疼痛，腫脹，引っかかり感およびスクワット動作中の機能障害については両者で明らかな差を認めなかった．また PCL 損傷患者における大腿四頭筋とハムストリングスの筋力を，研究1，2同様，Biodex dynamometer（Biodex Corp, New York, USA）を用いた等速動性収縮（60°/秒，180°/秒，300°/秒）時の最大トルクの患健側差で評価した．その結果，Giving-way 群および Non giving-way 群間でいずれの筋力にも有意差を認めなかった（大腿四頭筋；60°/秒；$p=0.21$，180°/秒；$p=0.42$，300°/秒；$p=0.08$，ハムストリングス；60°/秒；$p=0.81$，180°/秒；$p=0.69$，300°/秒；$p=0.50$；unpaired t-test）．また年齢（$p=0.05$），身長（$p=0.06$），体重（$p=0.07$）について両群間で有意差を認めなかった（表6）．KT-2000 による評価は膝屈曲 20°，70° で脛骨に対し前方引き出し力 134N，後方引き出し力 89N の負荷をかけた際の脛骨前後方変位量の患健側差を計測し（図9），各々の値を Giving-way 群，Non giving-way 群および健常群の3群間において

表6　KT-2000による計測での被験者の臨床データ

		PCL損傷患者		健常群
		Giving-way群	Non giving-way群	
対象者内訳		12（男性7，女性5）	12（男性9，女性3）	10（男性4，女性6）
年齢（歳）		32.6±7.2	26.2±7.4	28.9±6.6
身長（cm）		165.7±7.8	171.5±7.0	165.6±8.7
体重（kg）		61.9±12.3	71.0±11.2	58.7±7.3
受傷後期間（月）		51.8±57.2	48.5±48.4	
Modified Lysholm score		*55.1±8.6	90.7±12.5	
等運動性筋収縮（患健側差；%）				
（大腿四頭筋）	60 deg/sec	88.4±15.8	95.5±9.3	
	180 deg/sec	88.0±16.2	92.4±9.0	
	300 deg/sec	88.4±10.3	95.8±8.2	
（ハムストリングス）	60 deg/sec	91.1±21.8	92.8±10.6	
	180 deg/sec	95.7±13.4	93.0±17.3	
	300 deg/sec	91.9±15.8	96.9±17.6	

* Giving-way群－Non giving-way群間に有意差あり（$p<0.05$）
（Iwata. S et al：Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 15(4)：343-349, 2007. の Table 1 を許可を得て転載，改変）

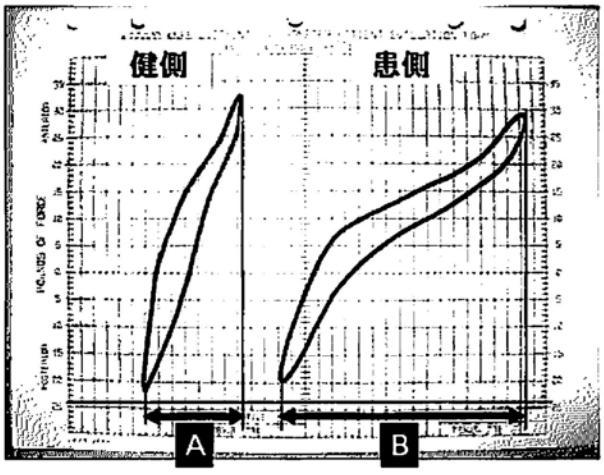

図9　KT-2000を用いた静的脛骨前後不安定性の評価方法
膝前後移動量（患健側差）＝B－A（mm）
（Iwata. S et al：Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 15(4)：343-349, 2007. の Figure 1 を許可を得て転載，改変）

比較検討した．

ストレスX線の計測はKT-2000で計測されたPCL単独損傷患者24名中14名および健常者10名を対象とした．患者14名はKT-2000での被験者同様Giving-way群9名およびNon giving-way群5名に分けられた．Giving-way群およびNon giving-way群間には年齢，modified Lysholm scoreについて有意差を認めたが，身長（$p=0.16$），体重（$p=0.17$）には有意差を認めなかった．また大腿四頭筋および，ハムストリングスの筋力（等運動性収縮）の患健側差についてもKT-2000での被験者同様，有意差を認めなかった（表7）．ストレスX線は脛骨を回旋0°となるように大腿，下腿を支持器で保持し，大腿四頭筋，ハムストリングスを完全に弛緩させ，過去の報告[15, 16]に基づいて脛骨粗面やや下方に前方から徒手的に最大の力を負荷した．膝屈曲角度20°，45°，90°でX線管球から撮影部位までの距離を1mに設定し，側方より撮影した．得られた画像から，大腿骨内顆最遠位部に最も近い脛骨内側関節面上の点（図10-A中★印）から脛骨内側関節面後縁までの距離，および大腿骨外顆最遠位部に最も近い脛骨外側関節面上の点（図10-B中★印）から脛骨外側関節面後縁までの距離を求め，その平均値を脛骨後方変位量と定めた．各屈曲角度で脛骨後方変位量をGiving-way群，Non giving-way群，健常群間の間で比較した．統計学的検討はKT-2000，ストレスX線の結果ともANOVA法が用いられ，危険率5%以下を有意差ありとした．

3. 結　果

KT-2000で計測された脛骨前後方変位量の患健側差は，膝屈曲20°においてGiving-way群はNon giving-way群および健常群よりも有意に大きかった（表8）．またNon giving-way群は健常群よりも有意に大きかった（表8）．膝屈曲70°においてGiving-way群，Non giving-way群ともに健常群よりも有意に大きかったがGiving-way群とNon giving-way群間には有意差を認めなかった（表8）．ストレスX線での脛骨後方変位量は，Giving-way群では膝屈曲20°，45°，90°いずれの角度でも内側，外側両関節面において健常群よりも有意に大きかった（表9-A，B）．一方，Non giving-

表7　ストレスX線による計測での被験者の臨床データ

		PCL損傷患者		健常群
		Giving-way 群	Non giving-way 群	
対象者内訳		9（男性4，女性5）	5（男性4，女性1）	10（男性4，女性6）
年齢（歳）		*31.6±5.8	22.4±6.3	28.9±6.6
身長（cm）		165.7±8.5	172.0±6.8	165.6±8.7
体重（kg）		61.1±13.5	72.8±15.1	58.7±7.3
受傷後期間（月）		52.2±57.1	57.8±57.2	
Modified Lysholm score		*58.0±7.4	94.0±8.2	
等運動性筋収縮（患健側差；%）				
（大腿四頭筋）	60 deg/sec	87.8±13.6	97.9±10.0	
	180 deg/sec	90.8±17.0	95.8±11.1	
	300 deg/sec	91.6±10.9	98.0±7.7	
（ハムストリングス）	60 deg/sec	92.7±22.8	87.5±8.4	
	180 deg/sec	94.3±9.4	90.8±17.1	
	300 deg/sec	87.1±12.3	95.2±20.3	

* Giving-way 群－Non giving-way 群間に有意差あり（$p<0.05$）
（Iwata. S et al：Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 15(4)：343-349, 2007. の Table 2 を許可を得て転載，改変）

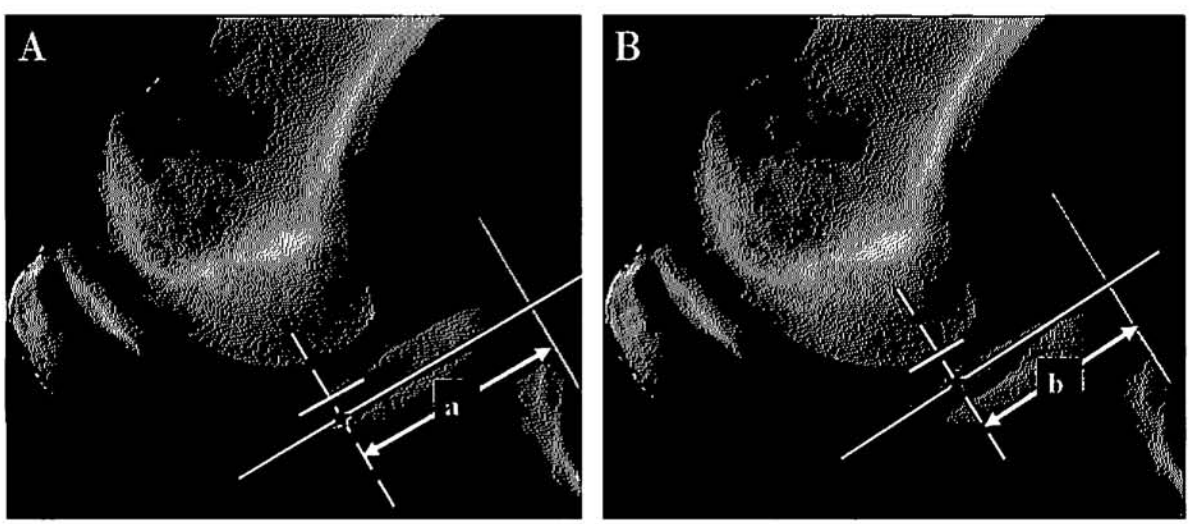

図10　ストレスX線画像における静的脛骨後方不安定性の評価方法
10-A：膝内側関節面における脛骨後方不安定性評価
a：内側脛骨関節面上の大腿骨との接点（★）～関節後縁（mm）
10-B：膝外側関節面における脛骨後方不安定性評価
b：外側脛骨関節面上の大腿骨との接点（★）～関節後縁（mm）
（Iwata. S et al：Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 15(4)：343-349, 2007. の Figure 2 を許可を得て転載，改変）

way 群に対しては，屈曲 20°，45° での後方変位量は内外関節面とも有意に大きかったが，90° では有意差を認めなかった．また Non giving-way 群では健常群に対して，後方変位量は内外側関節面とも屈曲 90° では有意に大きかったが，20° および 45° では有意差を認めなかった（表9-A, B）．

4. 小　括

KT-2000 での計測では膝屈曲 20°，ストレスX線での計測では屈曲 20° および 45° において，Giving-way 群では Non giving-way 群，健常群に比べて他動的に脛骨はより後方に変位した．一方，KT-2000 による屈曲 70°，ストレスX線による屈曲 90° の計測では，Giving-way 群，Non giving-way 群とも健常群に比べて他動的に脛骨は後方に変位するがその程度には両群で差を認めなかった．この結果から，70～90° と大きな屈曲角度では Giving-way 群，Non giving-way 群とも同程度の他覚的膝後方不安定性を有するが，20～45°

表8　KT-2000で測定された脛骨前後方変位量の比較

膝関節屈曲角度	KT-2000での Total displacement の患健側差（mm）		
	Giving-way 群	Non giving-way 群	健常群
20°	5.5±3.5	2.3±1.5	0.7±0.7
70°	4.8±2.4	4.8±3.7	0.8±0.8

* $p<0.05$
（Iwata. S et al：Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 15(4)：343-349, 2007. の Table 3 および 4 を許可を得て転載，改変）

表9　ストレスX線で測定された脛骨後方変位量の比較

9-A：膝内側関節面

屈曲角度	大腿脛骨関節接点～関節後縁間距離（mm）		
	Giving-way 群	Non giving-way 群	健常群
20°	40.6±5.7	36.2±2.9	26.4±5.2
45°	34.8±7.7	26.2±5.9	24.7±3.8
90°	31.9±6.5	27.0±4.9	18.1±3.6

9-B：膝外側関節面

屈曲角度	大腿脛骨関節接点～関節後縁間距離（mm）		
	Giving-way 群	Non giving-way 群	健常群
20°	33.3±6.2	26.0±4.8	21.9±4.1
45°	29.4±6.2	22.2±6.4	16.8±4.2
90°	26.6±5.5	27.0±4.9	17.8±3.5

* $p<0.05$
（Iwata. S et al：Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 15(4)：343-349, 2007. の Table 5 および 6 を許可を得て転載，改変）

と小さな屈曲角度では，前者では後者に比べてより大きな他覚的後方不安定性を有することが判明した．

考　察

1. PCL単独損傷患者の自覚症状について

これまでPCL単独損傷患者の自覚症状として膝関節の疼痛，giving-way，こわばり感，不安感などが報告されてきた．Dandy[8]らによれば最も頻度の高い自覚症状は疼痛であり，次にgiving-wayが続くとされる．このうち疼痛は主に変形性関節症や半月板損傷などの靭帯以外の関節構成体の変化に起因するものであり，PCL損傷による不安定性を直接反映するものではない．一方，giving-wayは，主に靭帯損傷に基づく動作中の関節不安定性（動的不安定性）を反映するためPCL再建術の適応を決める上では最も重要な自覚症状と考えられている[1]．Giving-wayの発生には，動的関節不安定性以外にも関節内遊離体や損傷半月板の陥頓，膝関節周囲筋の筋力低下などもその要因として挙げられる．本研究ではいずれの症例にもPCL損傷以外の膝関節疾患は認めず，また階段降下動作中のgiving-wayの有無によって膝関節周囲筋力に明らかな差を認めなかった．したがって本研究においてgiving-wayの有無が階段降下動作に及ぼす影響を検討することは，PCL単独損傷膝における動的関節不安定性の評価につながるものと考える．

2. PCL単独損傷患者の階段降下動作とgiving-way

Dandyら[8]がPCL損傷患者ではADL上階段降下動作中に自覚的な膝不安定感を生じる例が少なくないと指摘したことを受け，林ら[17]はPCL単独機能不全膝に対して階段降下動作を想定して単純X線撮影を行い，90°屈曲位で荷重状態から非荷重状態へ変化する時に脛骨が後方に変位することを明らかにした．この結果から，PCL単独損傷患者では階段降下動作中の立脚後期から遊脚初期にかけて動的な膝後方不安定性を生じ，その発生には荷重状態の変化が強く影響すると指摘した．このメカニズムとして脛骨の解剖学的特徴および筋活動の影響が考えられている．すなわち，脛骨関節面は長軸に対して約7°後方に傾斜している[4,18]ため，脛骨に荷重が加わると脛骨を前方へ押し出す力が働く．一方，非荷重状態に移り変わるとき，この前方への力は減少し，またその走行から脛骨を後方に引き出す作用を有するハムストリングの筋活動が高まるため，脛骨が後方に変位するとされている[17]．

本研究では筆者が渉猟しえた限り，初めて，階段降下動作全過程での大腿骨に対する脛骨の前後方向の動態をX線学的に捉えることができた．その結果，林らの報

告[17]と同様に階段降下動作中，立脚後期から遊脚初期に荷重状態から非荷重状態へ変化する際，PCL 損傷膝では健常膝に比べて脛骨が大きく後方に変位したが，後方変位の大きさは過去の giving-way の有無には影響されなかった．このことは階段降下動作中，立脚後期から遊脚初期に荷重状態から非荷重状態に変化するのに伴って生じる脛骨の後方変位は，PCL 単独損傷患者の愁訴とは関連が薄いことを示唆している．一方，過去の giving-way の有無に関わらず，遊脚中期から後期，立脚期全位相において X 線学的検討では動的な脛骨の後方不安定性は見出せなかった．しかし，光学マーカーを用いた三次元動作解析装置での検討では，giving-way 経験群と未経験群では階段降下動作の立脚初期に有意差を認めた．すなわち，giving-way 経験群では立脚初期に膝の屈曲をより小さくし，脛骨への後方力を抑えているとことが初めて明らかとなった．階段降下動作計測中に giving-way を発生した症例がまったくなかったことを考慮すると，Giving-way 群におけるこの特徴的な動作は立脚初期における動的後方不安定性を代償する動きである可能性が高い．

本研究ではさらに，これまでの報告において PCL 損傷膝の機能不全の程度に必ずしも影響しないとされてきた静的膝後方不安定性の程度と giving-way の関連性についてもより広い可動域で新たな検討を試みた．その結果，PCL 損傷膝において屈曲 70～90° での静的膝後方不安定性の程度は giving-way の有無に影響されなかったが，屈曲 20～45° の軽度屈曲位では静的不安定性の程度が giving-way の有無に大きく影響された．すなわち giving-way 経験群で屈曲 20～45° での静的不安定性が有意に高かった．この理由について考察した．一つは損傷された PCL の残存組織の存在およびその状態．もう一つは後方安定性に関係する他の靭帯組織あるいは後方関節包の損傷．PCL は解剖学的に前外側線維と後内側線維の二つの線維から構成され，前外側線維は屈曲位で緊張し，伸展位で緩むとされるが，後内側線維は伸展位で緊張し屈曲位で緩むとされる[16, 19-21]．したがって伸展位付近での後方安定性には後内側線維がより重要であると考えられる．そして PCL は治癒機転が働くことが多く[22]，受傷後の靭帯線維の損傷が重篤でない場合，あるいは後内側線維周囲に治癒機転が有効に働いた場合は伸展位付近の安定性は保たれている可能性があると考えられる．しかし，後内側線維は前外側線維に比べて解剖学的に薄く，弱いとされているため[12, 19-21]，伸展位付近の不安定性を後内側線維のみで制御できるかは疑問が残る．

また，PCL だけでなく後外側支持機構，内側側副靭帯，大腿半月靭帯，後方関節包などの組織によっても後方不安定性は制御されるとする報告もみられた[16, 19-21, 23]．本研究では徒手検査や MRI で全ての患者に他の靭帯損傷を認めなかったが，後外側支持組織，大腿半月靭帯，後方関節包の損傷は一般的な臨床検査で発見することが困難な場合も多い．したがって伸展位付近の脛骨後方不安定性の程度がこれらの後方支持組織の損傷の合併の影響を受けている可能性も否定できないと考えられる．

また光学マーカーを用いた動作解析において Giving-way 群と Non giving-way 群間に有意差を生じた立脚初期での膝屈曲角度はどの群においても約 30° であり 20～45° での静的後方不安定性が動作中の不安定性も引き起こすことが強く示唆されるものと考えられる．

3. PCL 単独損傷膝に対する新たな評価

屈曲 70° での KT-2000 および屈曲 90° でのストレス X 線を用いた本研究における静的不安定性評価において Giving-way 群と Non giving-way 群間に有意差を認めなかったが，屈曲 20° での評価では Giving-way 群は Non giving-way 群より有意に静的後方不安定性が大きかった．これらの結果は PCL 損傷膝において，より小さい屈曲角度での不安定性評価の重要性を示唆するものである．現在多くの報告[24-26]では PCL 損傷膝における膝不安定性は屈曲 70°～90° で評価されているが，症状発現の可能性について評価するためには伸展位付近のより小さい屈曲角度での不安定性に注目すべきであると考える．また PCL 単独損傷膝に対する動的不安定性の評価として光学系マーカーを用いた三次元動作解析の意義が大きいことも証明された．これらの評価は，いまだに確立されていない PCL 単独損傷に対する外科的再建術の適応の確立を含めた治療方針の決定の一助となりうるものであり，実際の臨床において非常に重要な意味を持つものであると考える．

総　括

PCL 単独損傷患者における自覚的不安定感の発現機序を解明する一助とするため，階段降下動作に注目し，自覚的不安定感の主な原因となる膝崩れ現象（giving-way）の有無により PCL 損傷患者を 2 群に分け，それぞれ 1）三次元動作解析装置による動作解析，2）fluoroscope による動作解析をおこない，3）KT-2000，ストレス X 線による他覚的不安定性を全可動域で計測した．本研究により自覚症状と膝関節動作の関係，自覚

症状と他覚的不安定性の関連性について以下の事実を明らかにした．

1. 階段降下動作において giving-way を自覚したことのある PCL 単独損傷患者群と自覚したことのない患者群間には立脚初期に運動力学的な相違を認めた．すなわち，giving-way 経験群では立脚初期に膝の屈曲を小さくすることで脛骨への後方外力をおさえていた．
2. 過去の報告どおり，階段降下動作中，PCL 単独損傷膝では症状の有無に関わらず，荷重状態から非荷重状態に移行した直後の遊脚初期でのみ膝後方不安定性を認めた．他の位相では両群とも脛骨の後方変位度は健常群と変わらなかった．
3. 屈曲角度 70° 以上の大きな屈曲角度における脛骨の他覚的後方不安定性は，giving-way 経験群と未経験群で差はないが，45° 以下の小さな屈曲角度（伸展位付近）では，giving-way 経験群が未経験群に比べてより大きな他覚的後方不安定性を有していた．

謝　辞

本稿を終えるにあたり，ご指導，ご校閲を賜りました慶應義塾大学医学部整形外科学教室戸山芳昭教授に深甚なる謝意を表します．本研究に際し，直接ご指導，ご校閲をいただきました慶應義塾大学医学部整形外科松本秀男准教授，須田康文専任講師に深謝いたします．さらに多大なるご助言，ご指導いただきました慶應義塾大学医学部整形外科名倉武雄特別研究教員講師をはじめとする慶應義塾大学医学部生体医工学研究室の諸先生方に感謝いたします．

文　献

1) 出家正隆，越智光夫：後十字靱帯損傷膝－病態と治療－．臨床スポーツ医学，20(6)：633－637，2003.
2) Cross MJ, Powell JF. Long-term followup of posterior cruciate ligament rupture：A study of 116 cases. Am J Sports Med. 12：292-297, 1984.
3) Satku K, Chew CN, Seow H. Posterior cruciate ligament injuries. Acta Ortho. Scand. 55：26-29, 1984.
4) Shelborne KD, Davis TJ, Patel DV. The natural history of acute, isolated, nonoperatively treated posterior cruciate ligament injuries. Am J Sports Med. 27-3：276-283, 1999.
5) Torg JS, Barton TM, Pavlov H, Stine R. Natural history of the posterior cruciate ligament-deficient knee. Clin. Orthop. 246：208-216, 1989.
6) Keller PM, Shelborne D, McCarroll JR, Retting AC. Non operatively treated isolated posterior cruciate ligament injuries. Am J Sports Med. 21：132-136, 1993.
7) Iwamoto J, Takeda T, Suda Y, Otani T, Matsumoto H：Conservative treatment of isolated posterior cruciate ligament injury in professional baseball players：a report of two cases. The Knee, 11：41-44, 2004.
8) Dandy DJ, Pusey RJ. The long-term results of unrepaired tears of the posterior cruciate ligament. J. Bone and Joint Surg. 64-B：92-95, 1982.
9) Miller MD, Johnson DL, Harner CD, Fu FH. Posterior cruciate ligament injuries. Ortho Rev 22：1201-1210, 1993.
10) Suda Y, Seedhom BB, Matsumoto H, Otani T：Reconstructive treatment of posterolateral rotatory instability of the knee. Am J Knee Surg. 13：110-116, 2000.
11) Patel RR, Hurwitz DE, Bush-Joseph CA, Bach BR, Andriacchi TP. Comparison of clinical and dynamic knee function in patients with anterior cruciate ligament deficiency. Am J Sports Med. 31：68-74, 2003.
12) Andriacchi TP, Anderson GB, Fermier RW, Stern D, Galante JO. A study of lower-limb mechanics during stair-climbing. J Bone Joint Surg [Am]. 62：749-57, 1980.
13) Dennis SA, Komistek RD, Mahfouz MR. In vivo fluoroscopic analysis of fixed-bearing total knee replacement. Clin Orthop 410：114-130, 2003.
14) Lysholm J, Gillquist J. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. Am J Sports Med. 10：150-154, 1982.
15) 村瀬研一，熊野　潔，万能寺毅智，横江清司，金子和夫，入江一憲，大久保夫美子，小出清一，黒沢　尚，佐藤　茂，星川吉光，増島　篤，村上　俊，中島寛之．膝関節前後方向強制位の X 線計測法　東京膝関節学会誌 4：179-186，1983.
16) Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. Clin Orthop. 106：216-231, 1975.
17) 林承　弘，石橋俊郎，水田隆之ほか：後十字靱帯に対する保存療法．臨床整形外科22－9：1055-1064，1987.
18) Komistek RD, Dennis DA, Mahfouz MR. In vivo fluoroscopic analysis of the normal human knee. Clin Orthop. 410：69-81, 2003.
19) Harner CD, Xerogeanes JW, Livesay GA, Carlin GJ, Smith BA, Kusayama T, Kashiwaguchi S, Woo SL. The human posterior cruciate ligament complex：an interdisciplinary study. Ligamant morphology and biomechanical evaluation. Am J Sports Med. 23：736-745, 1995.
20) Race A, Amis AA. The mechanical properties of the bundles of the human posterior cruciate ligament. J Biomech. 27：13-24, 1994.
21) Van Domm elen BA, Fowler PJ. Anatomy of the posterior cruciate ligament. A review. Am J Sports Med.

17：24-29, 1989.
22) Tewes DP, Fritts HM, Fields RD, Quick DC, Buss DD. Chronically injured posterior cruciate ligament：magnetic resonance imaging. Clin Orthop. 335：224-232, 1997.
23) Ritchie JR, Bergfeld JA, Kambic H, Manning T. Isolated sectioning of the medial and postromedial capsular ligaments in the posterior cruciate ligament-deficient knee. Influence on posterior tibial translation. Am J Sports Med. 26：389-394, 1998.
24) Hewett TE, Noyes FR, Lee MD. Diagnosis of complete and partial posterior cruciate ligament ruptures. Am J Sports Med. 25：648-655, 1997.
25) Matsumoto H, Suda Y, Otani T, Niki Y, Fujikawa K. Posterior cruciate ligament injury and return to sports activities. Jpn. J Orthop Sports Med. 20：411-416, 2000.
26) Noyes FR, Stowers SF, Grood ES, Cummings J, VanGinkel LA. Posterior subluxations of the medial and lateral tibiofemoral compartments：An in vitro ligament sectioning study in cadaveric knees. Am J Sports Med. 21：407-414, 1993.