Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2026-11-25

前十字靭帯切離屍膝の不安定性について : pivot shiftの解析

北澤, 久也

(Degree)
博士（医学）

(Date of Degree)
1991-10-09

(Date of Publication)
2012-06-22

(Resource Type)
doctoral thesis

(Report Number)
乙1583

(JaLCDOI)
https://doi.org/10.11501/3062334

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2001583

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。

前十字靭帯切離屍膝の不安定性について

－pivot shift の解析－

1）県立加古川病院　整形外科
2）明和病院　整形外科
3）神戸大学医学部　整形外科

北澤久也[1]，吉矢晋一[2]
黒坂昌弘[3]，廣畑和志[3]

神戸大学医学部紀要 第52巻 第3号　別刷
平成3年9月

前十字靭帯切離屍膝の不安定性について

－pivot shift の解析－

1）県立加古川病院　整形外科
2）明和病院　整形外科
3）神戸大学医学部　整形外科

北澤久也[1)]，吉矢晋一[2)]
黒坂昌弘[3)]，廣畑和志[3)]

（平成3年6月6日　受付）

要　約

前十字靭帯の切離が膝関節の不安定性にどのような結果をもたらすか，切断屍膝を用いて potentiometer と CT 撮影装置を利用した実験装置で解析した。ACL は脛骨の内旋を制御し，その作用は膝伸展位でより明らかであった。pivot shift の動きを検討するために腸脛靭帯に牽引を加えながら外反トルク，内旋トルク下に膝関節屈曲角度0°・20°・40° の時の脛骨の動きを内旋（internal rotation），前方変位（anterior translation）の2つの要素で計測した。20° では両要素で亜脱臼位にある脛骨が，40° では整復位にあることが観察された。この pivot shift が起こるのに必要な instability が生ずるためには外反トルクに加えて適度な内旋トルクが必要であった。

緒　言

前十字靭帯（以下ACL）損傷膝においては，前方及び回旋不安定性が生じるとされており，前方不安定性に関する研究，報告は多い[1)]。一方，回旋不安定性にはACLの脛骨の内旋制御が大きく関与するとされているが報告が少なく，議論も分かれている。これら2つの不安定性はACL損傷の膝で各々単独に起こるものではなく，実際には脛骨が内旋しつつ前方へ移動するものである。この動きは前外側回旋不安定性とも呼ばれ[2)]，臨床的にこれを観察するものとしては pivot shift testが代表的である。1972年 Galway，MacIntosh[3)] が膝伸展位から外反と内旋を加えながら屈曲していく時，前外側亜脱臼位に あった脛骨外顆が突然整復される現象をpivot shift と呼んだ。以後 pivot shift test はACL損傷膝における不安定性を臨床的に観察評価する方法として広く知られている。ところが pivot shift に伴う脛骨と大腿骨相互の位置関係の変化とその発現に影響を与える因子に関しては不明な点が多く，その解析についての報告は少ない。

今回の研究は，先ずACL の脛骨内旋制御における機能・役割を切断屍膝を用いて検討し，次に pivot shift でみられる脛骨の亜脱臼及び整復現象における脛骨－大腿骨間の動きを解析してこの現象の発現に影響を与える因子を究明するのが目的である。

方　法

新鮮凍結切断屍膝8膝を使用した。切断理由は血行障害・外傷でありいずれの膝も靭帯損傷や変形性関節症を有していないものを選択した。切断された膝は－80℃の冷凍庫で保存し，実験を行う24時間前に室温で解凍した。

実験装置と切断屍膝を連結するためにジュラルミン製の髄内釘を用い，骨セメント（polymethyl meta crylate ）にて脛骨側，大腿骨側の両端で固定した。大腿骨側は固定台に強固に固定し，脛骨遠位側は前後左右方向に自由にスライドする台の上に固定した自動調心ベアリングに取り付けた。この装置は屈曲角度は保ちつつ，他のあらゆる種類・方向への脛骨の動きを力学的に制御しない構造となっている。つまり脛骨に外力が加えられた時，前後，近遠位，内外側方向への3種類の変位と内外反，内外旋の2種類の回旋に安全な自由度が許されている。実験装置はCT撮影台に設置できるように考案し（図1），脛骨側で内旋トル

Key Word : anterior cruciate ligament（前十字靭帯），rotatory instability（回旋不安定性），pivot shift

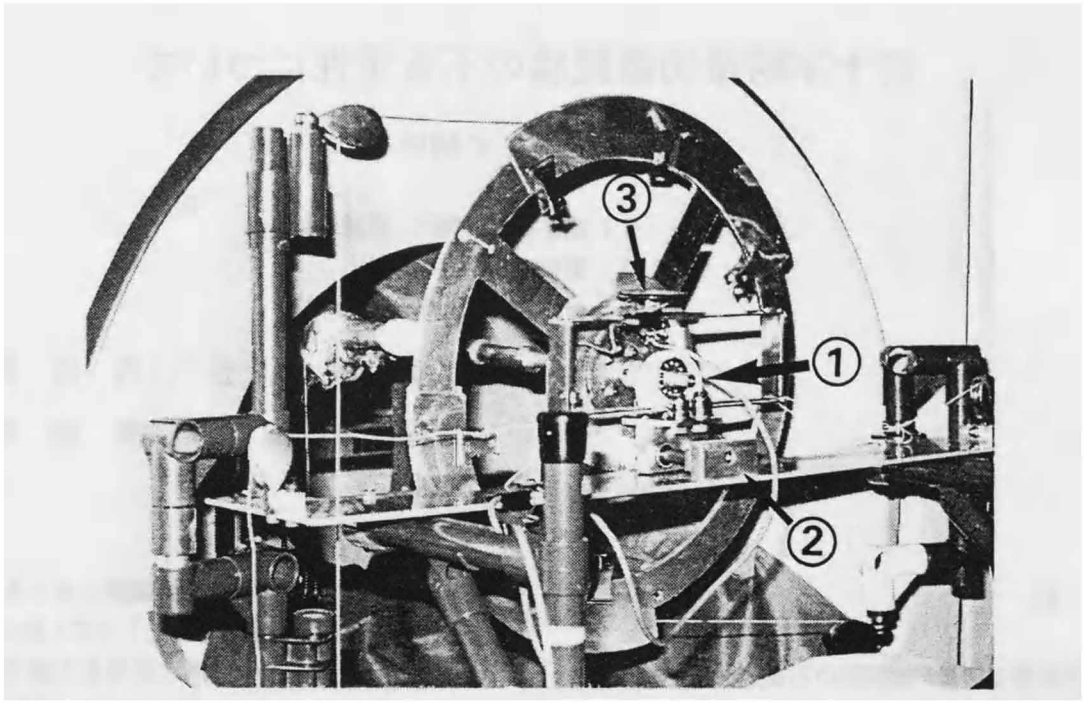
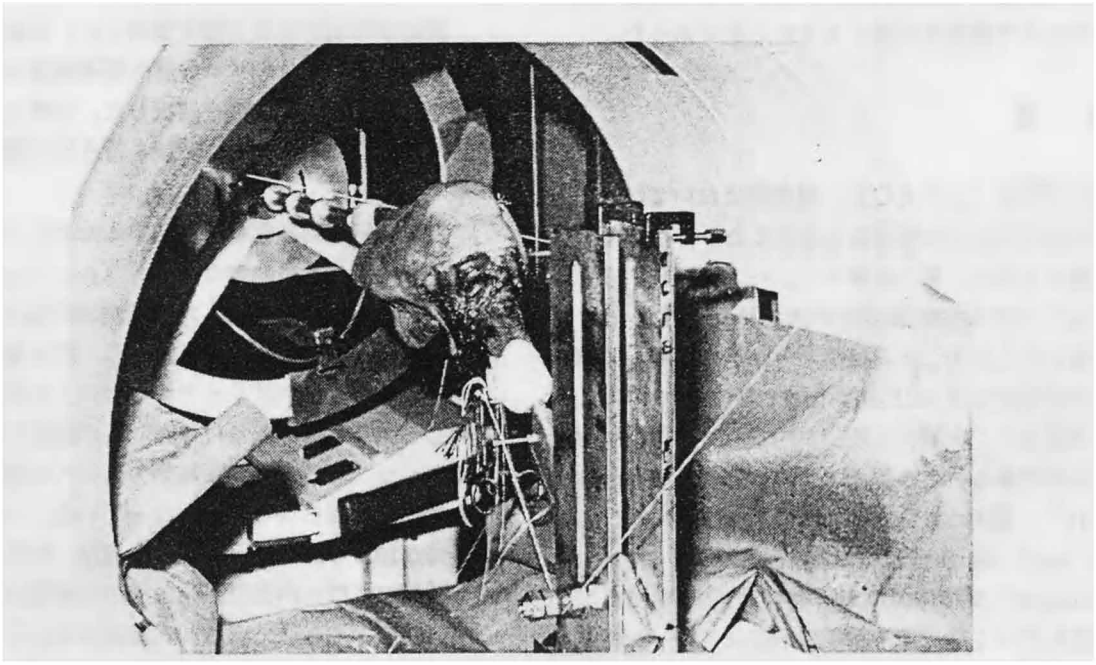


図1　実験装置はＣＴ撮影台に設置した。
(a)脛骨側は左右方向にスライドする台の上に固定した自動調心ベアリングに取り付けた。内旋トルクは脛骨軸に垂直な円板を介して，外反トルクはスライドする台を介して重錘にて加えた。回旋は potentiometer によって導出し記録した。（1－自動調心ベアリング，2－スライドする台，3－potentiometer）



(b)大腿骨側の固定台は屈曲角度を変えられる。

ク及び外反トルクを加えられるようにした。脛骨の内旋(internal rotation)はpotentiometer で導出し記録した（図2）。また，前方変位（anterior translation)は脛骨関節面より約1cm遠位でＣＴ撮影を行いその画像を用いて計測した（図3）。

実験方法は大腿骨側で屈曲角度を固定し，脛骨側で内旋・外反トルクを加えた際の脛骨の回旋，変位を観察した。各条件での回旋は，膝関節伸展位で靱帯切離前の負荷を加えない状態を基準位置とした。また前方変位は各屈曲角度での負荷を加えない状態を基準とした。実験装置に切断屍膝を装着する前に膝関節前内方に切開を加えACLの各bundleにあらかじめ鋼線を通し，その鋼線により標本を実験装置に固定したままの状態で靱帯を切離し同一条件下での靱帯切離前後の比較を行った（図4)。まず予備実験で関節切開そのものが不安定性に影響の無いことを確認した後，以下の実験を行った。

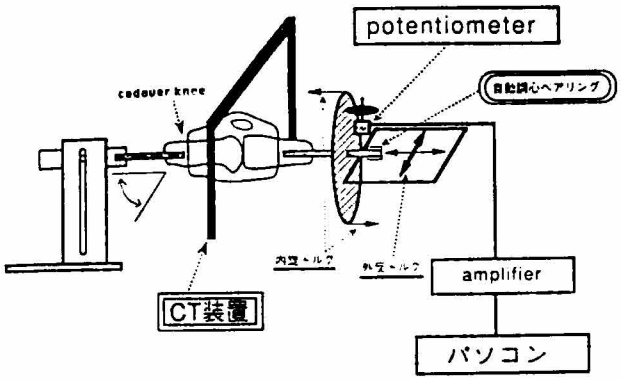


図2　実験装置の概略図。大腿骨側は屈曲角度を任意の位置（0°，20°，40°）で固定でき，脛骨側は屈伸以外の動きを制限しない。脛骨側で内旋トルク・外反トルクを加えた結果の脛骨の前後の動きはＣＴ撮影で記録し，回旋はpotentiometer で導出し記録した。

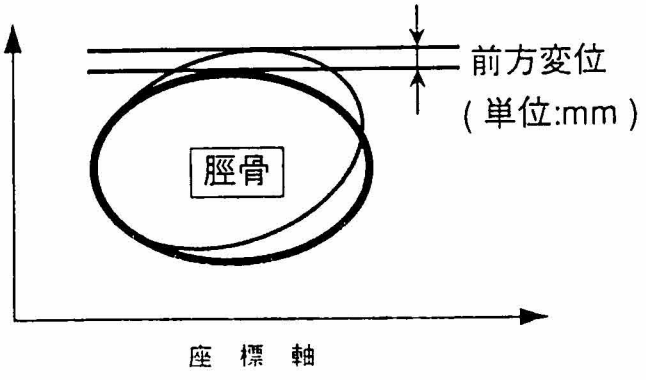


図3　前方変位（anterior translation）はＣＴ画像上で計測した。

実験１：ＡＣＬの脛骨内旋制御に関する計測

膝屈曲角度0°と30°の2つのpositionにおいて一定の内旋トルクを加えACL切離前と後での脛骨の内旋を計測し比較した。

次にACLの2つのbundle であるanteromedial bundle と posterolateral bundle を別々に切離した。2膝においてはまず anteromedial bundle そして posterolateral bundle を，他の2膝ではその順序を逆にし同様に内旋トルクによる脛骨の内旋を計測した。

実験2：pivot shift における亜脱臼，整復現象の解析

本実験では実際にpivot shift を行う際の手技に準じ腸脛靱帯の緊張下に外反・内旋トルクを与え，膝屈曲に伴う亜脱臼，整復現象を観察するため0°・20°・40°の3種類の屈曲位で脛骨の内旋，前方変位を測定した。腸脛靱帯の緊張，外反トルクの大きさは過去の

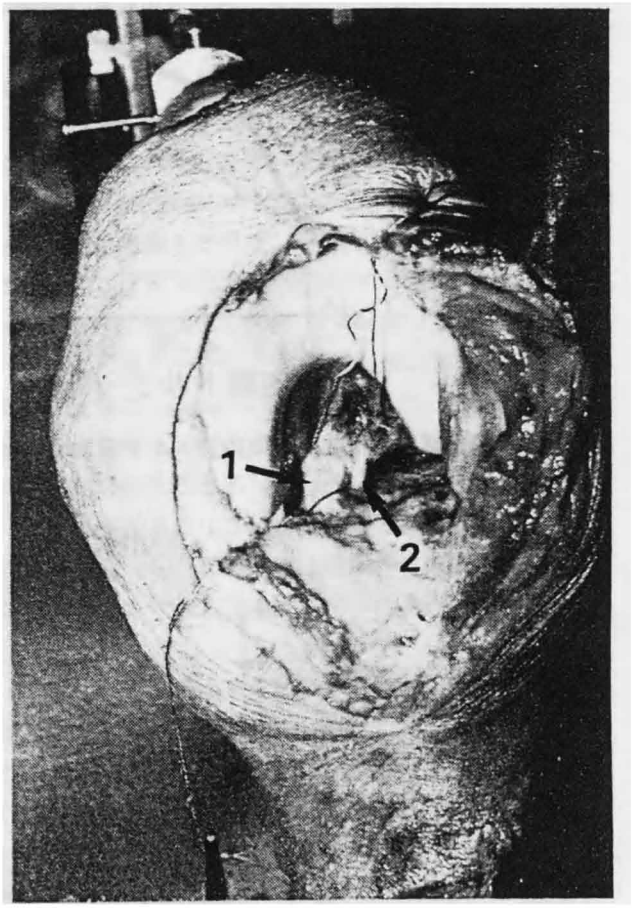


図4　実験装置に切断屍膝を固定する前に medial parapatellar approach で関節切開しＡＣＬの各 bundle にワイヤーを通してこれにより各 bundle を切離した。
（1－anteromedial bundle, 2－posterolateral bundle）

報告を参考に40N、9.5Nmとした。腸脛靱帯は遊離端を大腿骨軸に平行に中枢方向に牽引した（図1－b）。

内旋トルクは大きすぎると外旋方向への整復モーメントを相殺してしまうため，屈曲につれて本来生ずるべき外旋に伴う整復が生じ得ない。そこで予備実験として0.48 Nm・1.2Nm・3.6 Nmの3種類の内旋トルクを用いまず実験を行った。それにより適切な内旋トルクレベルを設定した後，4膝を用い外反トルク・内旋トルクを各々単独，両者同時に加えた際の整復現象を比較した。

結　果

実験1．膝30°屈曲位のほうが膝伸展位よりも同一内旋トルク下での内旋が大きかった。両屈曲位いずれにおいてもACL切離により脛骨の内旋は増大した。この内旋の増大は膝伸展位でより明らかであり，ACL切離の影響は，膝伸展位でより顕著にみられた（図5）。

次に，ACL切離の影響が大きかった膝伸展位においてanteromedial bundleとposterolateral bundle の単独切離の比較を行った。いずれもACL 完全切離に匹敵するような内旋増大は認めず，つまり各bundle のいずれが優位とは断定できなかった（図6）。

実験2．まず9.5Nmの外反トルク下で内旋トルクを変数としたときの膝屈曲0°・20°・40°での脛骨の内旋・前方変位を計測した。内旋トルクが0.48Nmと

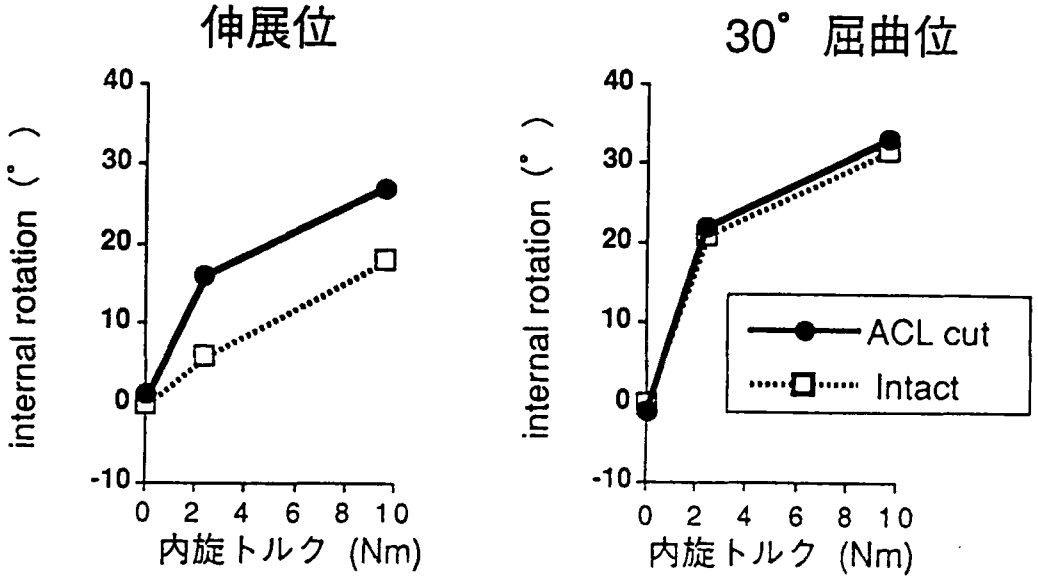


図5　膝伸展位と屈曲30°で内旋トルクを加えた時の脛骨の内旋を示す。ＡＣＬ切離の影響は膝伸展位でより顕著にみられた。

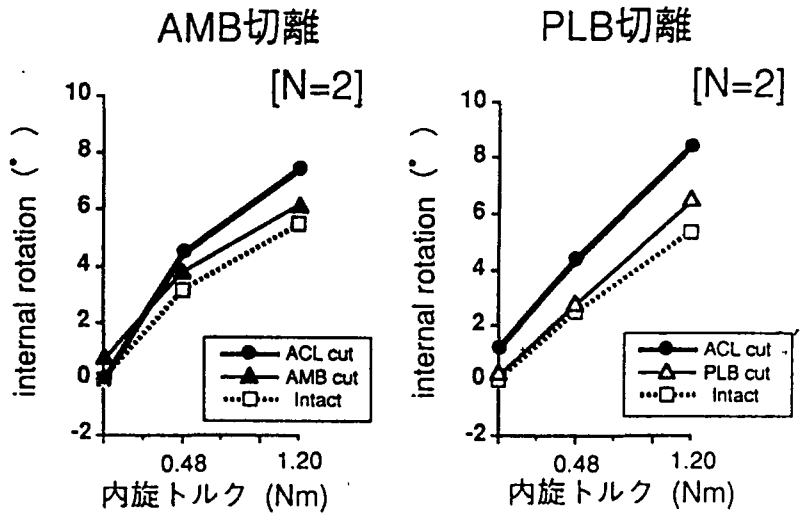


図6　伸展位での各bundleの内旋制御における役割ではanteromedial bundle と posterolateral bundle のどちらが優位とは断定できなかった。

1.2 Nmの場合，屈曲0°→20°と変化したとき正常膝に比しACL切離膝では内旋かつ前方変位が増大し，20°→40°のときに正常膝の変位に近付くという整復現象が観察された。そして0.48Nmと1.2Nmの両者を比較すると1.2Nmで整復現象の変位幅がより大きかった。しかし，3.6Nmでは内旋トルクが大きすぎるためこの整復現象は観察できず屈曲と共に変位はむしろ増大した。これらの結果をふまえ，内旋トルクは1.2Nmを加える事とし以下の実験をおこなった（図7）。

ここでは外反トルクと内旋トルクを単独あるいは同時に負荷した時，膝屈曲に伴い脛骨がどのように変位するかを計測した（図8）。

外反トルクまたは内旋トルクを単独に負荷したとき，正常膝，ACL切離膝いずれにおいても脛骨の内旋および前方変位が観察された。この内旋，前方変位は各屈曲角度で比較すると伸展位より20°屈曲位で増大し，40°屈曲位で少し減少した。ACL切離膝では正常膝に比べ変位はやや大きかったが，両者間の各屈曲位での変位のパターンは同様で明らかな差はみられなかった。

一方，外反トルクと内旋トルクの両者を同時に加えるとACL切離膝では屈曲0°から20°で内旋，前方変位は正常膝に比べ明らかに増大し，40°では正常膝との差がほとんど無くなりほぼ正常の位置関係に戻っていた。つまりACL切離によって生じた脛骨の異常な変位が屈曲と共に整復される現象が観察された。

考　察

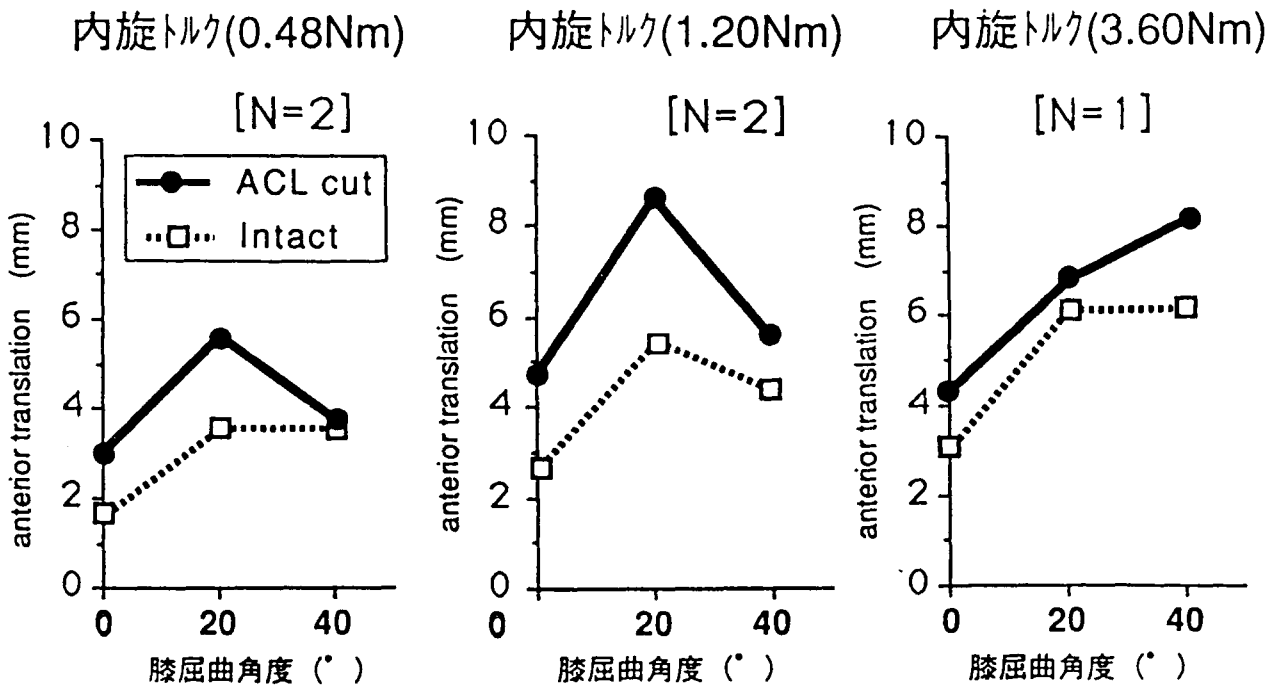
ACL切離が脛骨の内旋を増加させるという現象は過去の報告にも散見される。Girgisら[4]は切断肢を用いた実験でACL切離により90°屈曲位では5°内旋が増加するのに対して伸展位では平均8°増加するとしている。Lipkeら[5]もACL切断肢を用いてACL切離により内旋が増加し回旋軸も内側に移動すると述べている。Zarinら[6]は正常膝とACL損傷膝の回旋の比較を生体で行い，内旋は膝屈曲30°・60°・90°では両者に差がなく，15°・5°ではACL損傷膝で有意に内旋が増加し特に5°でその差が顕著であるとしている。一方Laneら[7]はACL切離により内・外旋いずれも有意な増大は見られなかったとし，ACLの回旋制御機能について否定的な立場をとっている。本実験ではACL切離で脛骨の内旋の増大を認め，ACLには内旋制御の機能がある事が分かった。また，過去の報告と同様ACLの内旋制御は30°屈曲位よりも伸展位でより明らかであった。

ACLはanteromedial bundleとposterolateral bundleの2つの部分に分られるが，その各構成要素を別々に切離して機能の違いを述べた文献は少ない。Norwood[9]はanteromedial bundleの切離が有意にanterolateral instabilityをもたらすとしているが力学的な実験は行っていない。Nielsen[7]はanteromedial bundleの切離が軽度屈曲位（0～30°）で内旋の増加をもたらし，膝伸展位で最大になるとしている。概してanteromedial bundleの機能がより有意であるとの意見が多い。本実験では膝伸展位で各bundleを別々に切離してその機能の差を検討したところ図6に示すようにanteromedial bundle・posterolateral bundleいずれの単独切離の場合でも完全切離と正常膝の中間的な値をとっていた。つまりいずれのbundleも内旋制御にある程度関与しているが，どちらが優位とは判定できなかった。臨床的にはACLの部分断裂はその病態，治療の意見の分かれるところであるが[10),11),12)]本実験からは，いずれかのbundleの残っている部分断裂であれば回旋については制動効果があると考える事ができる。

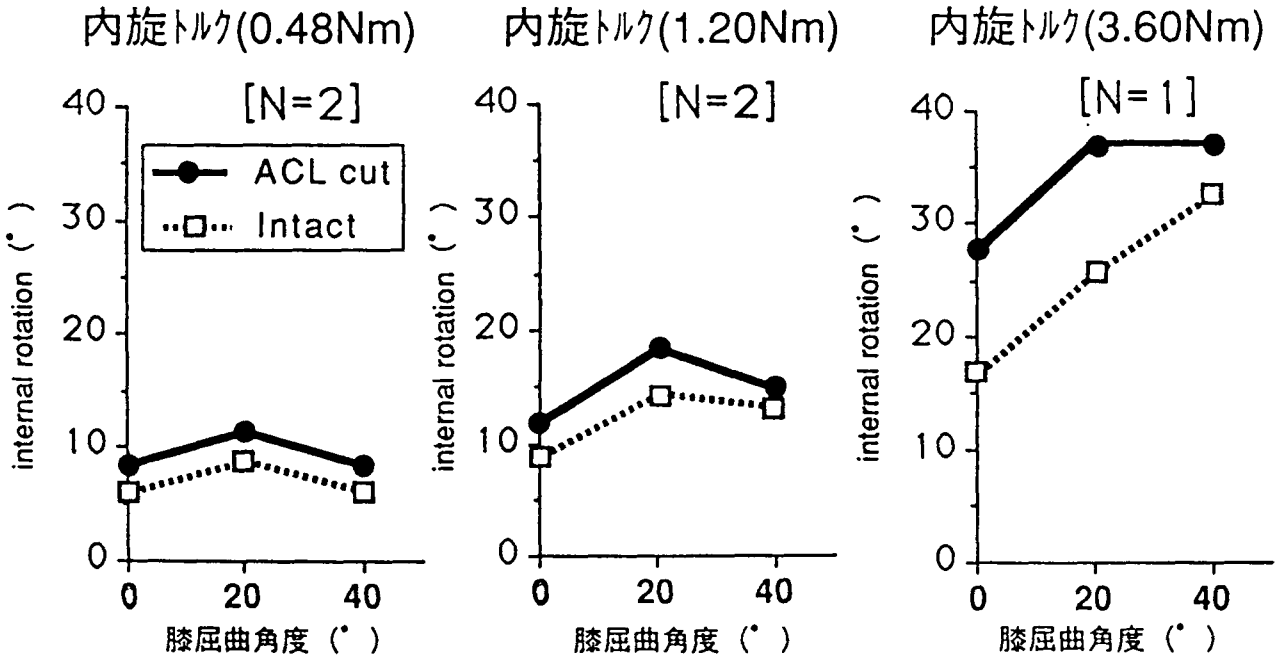
pivot shiftという現象は1972年Galway,Macln-tosh[3,13]が，ACL損傷膝において伸展位から外反トルクと内旋トルクを同時に加えながら屈曲していく時に亜脱臼位にあった脛骨が突然整復される現象として定義した。Hughston[14]はGalway,Macln-toshらとは逆に膝屈曲位より外反，内旋しつつ伸展していくときに30°付近で突然亜脱臼位になる現象を"jerk test"と呼んだ。Slocum[15]は側臥位で膝を屈曲していく時に外反トルクだけで整復現象がおこるとしており，さらにLosee[16]は"jerk test"においては内旋でなく外旋を加えたほうがより偽陰性が少なく検査の感度が高くなると述べている。過去のこれらの報告は，検査手技は異なるが膝伸展位で脛骨が内旋しつつ前方へ亜脱臼し，屈曲位では脛骨が外旋しつつ後方へ整復されるという本質的には同一の現象を観察するものである。

Tameaら[17]は小刻みに（7～10°）レントゲン撮影した実験よりpivot shiftを3つのphaseに分類している。伸展位付近でのsubluxed phaseではrollingのみが起こり，屈曲位20°－40°のshift phaseでは突然のslidingが起こりreduced phaseになると述べている。この分類に従って諸家が検査時に加えるとしている外力を要約すると図9に示す如くである，しかし，このpivot shift現象を観察する際，膝に加える外反，内旋等のトルクの影響やその際の脛骨と大腿骨の位置関係の変化を分析した報告は少ない。

本実験結果（図8）では，外反トルクや内旋トルク

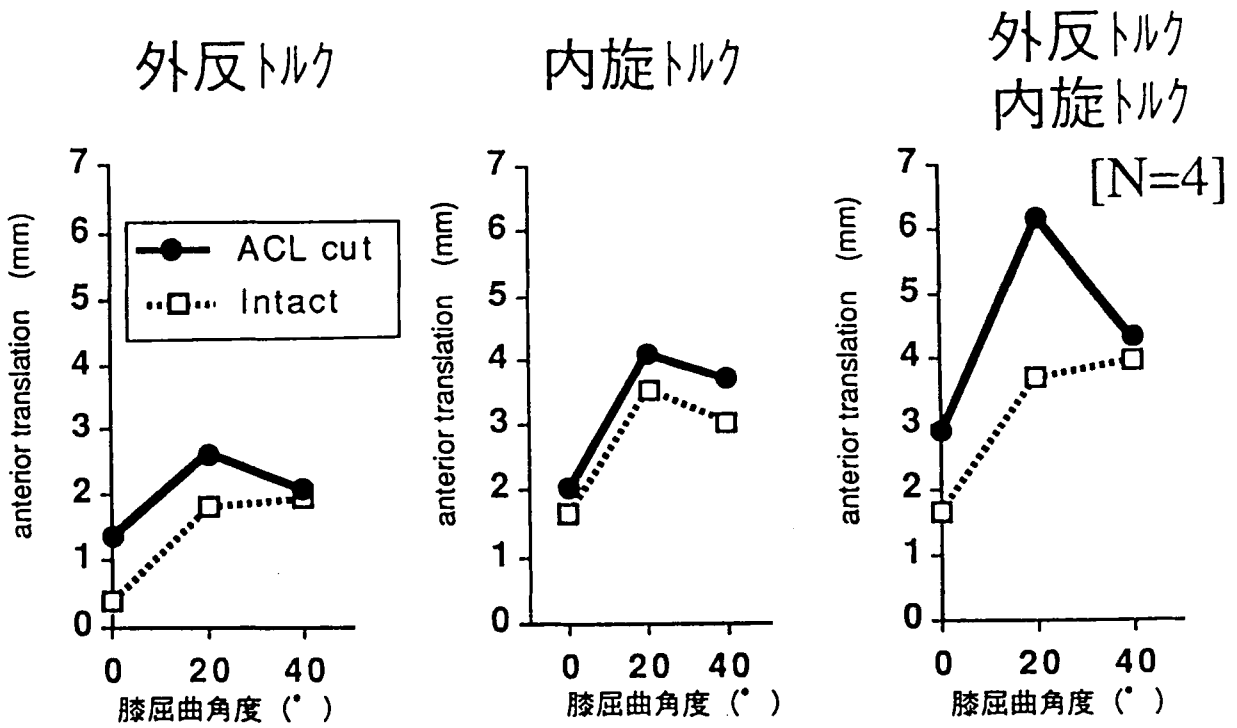


(a) 前方変位

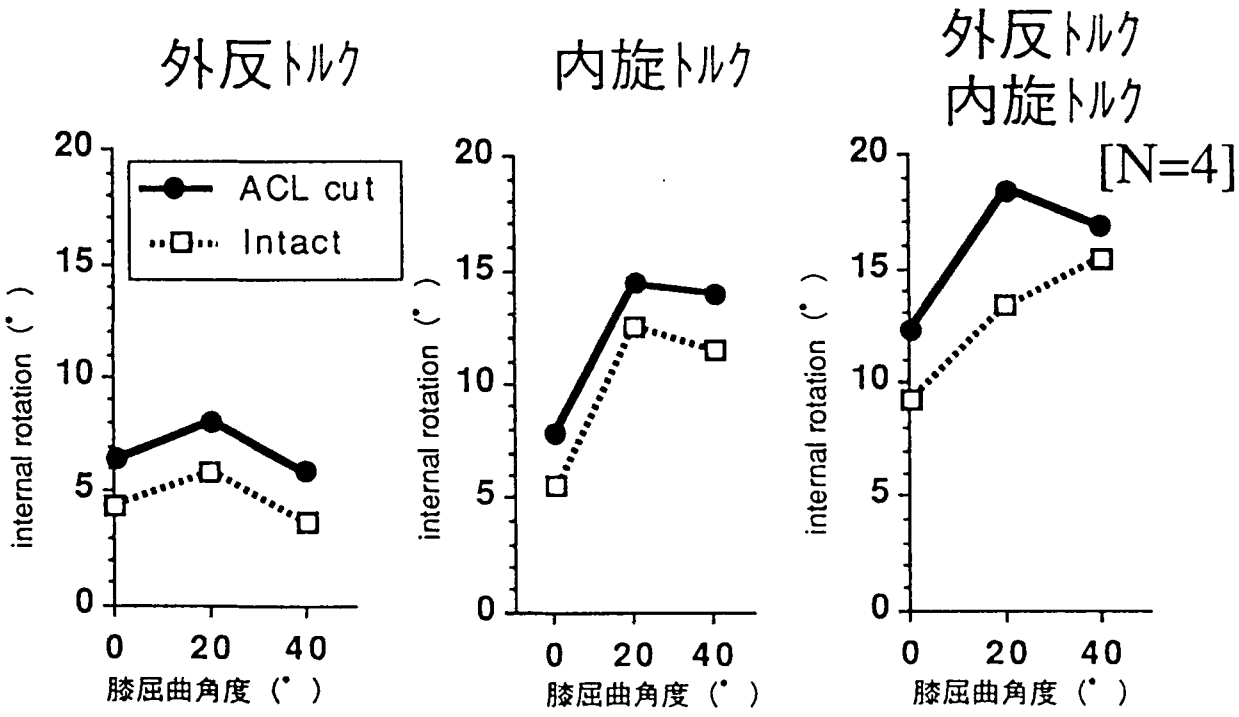


(b) 内旋

図7 一定の外反トルク下での内旋トルクの大きさと整復現象の関係を示す。内旋トルクが1.2Nm のとき整復現象が最も明らかとなるが，3.6Nmでは整復現象は起こらなかった。



(a) 前方変位



(b) 内旋

図8 外反トルクと内旋トルクが脛骨の前方変位(a)，内旋(b)に与える影響を示す。外反トルク，内旋トルクの両者を同時に加えるとき整復現象は顕著となった。（外反トルク9.5Nm，内旋トルク1.2Nm，腸脛靭帯40N牽引下）

を単独に加えた時には脛骨の変位の各屈曲位での変化パターンは正常膝とACL切離膝で差が無かった。すなわちACL切離膝で特有にみられる亜脱臼位およびその整復現象を観察し得なかった。しかし，両者を同時に加えるとACL切離膝では屈曲0°から20°で脛骨の内旋および前方変位は，正常膝に比べ明らかに増大し40°屈曲位ではACL切離の影響は無く正常膝と同様の位置関係となっていた。これはpivot shiftにおける亜脱臼および整復現象に相当するものと考えられた。この際のACL切離膝での屈曲20°と40°（整復位）における脛骨の位置を図10に示す。外反，内旋トルクを加えることにより20°屈曲位では脛骨は内側側副靱帯（MCL）付近の回旋軸を中心に内旋しつつ前方へ変位しており，40°屈曲位では前方変位はみられず内旋も正常膝と差が少なく回旋軸も膝の中心よりに移動していた。外反および内旋トルクの効果は20°屈曲位でのこのMCL付近を回旋軸とする脛骨の内旋かつ前方変位をより強調する事ではないかと考察できる。一方pivot shift での整復現象は腸脛靱帯の牽引力による外旋かつ後方への整復モーメントが屈曲に伴い増大し，内旋・前方方向への力を上回る事によって生じるとされている[18),19),20)]，我々の予備実験でも腸脛靱帯の牽引なしでは整復現象はおこらず，また脛骨に加える内旋トルクが大きすぎると整復現象がみられなかった。実際の検査手技においても整復現象が発現するためには内旋トルクは大きすぎないか，又は屈曲に伴いタイミング良く弱められる必要があると考えられた。

	Subluxed phase (0°-20°)	Shift phase (20°-40°)	Reduced phase (40°-90°)
Galway Macintosh (1972)	外反 内旋	→	
Slocum (1976)	外反	→	
Hughston (1976)		←	外反 内旋
Losee (1976)		←	外反 外旋

図9　各検査手技で加える負荷を示す。各手技で外反を加えることは共通であるが，回旋については内旋は不要とするものや逆に外旋を加えるという手技もあり一定しない。

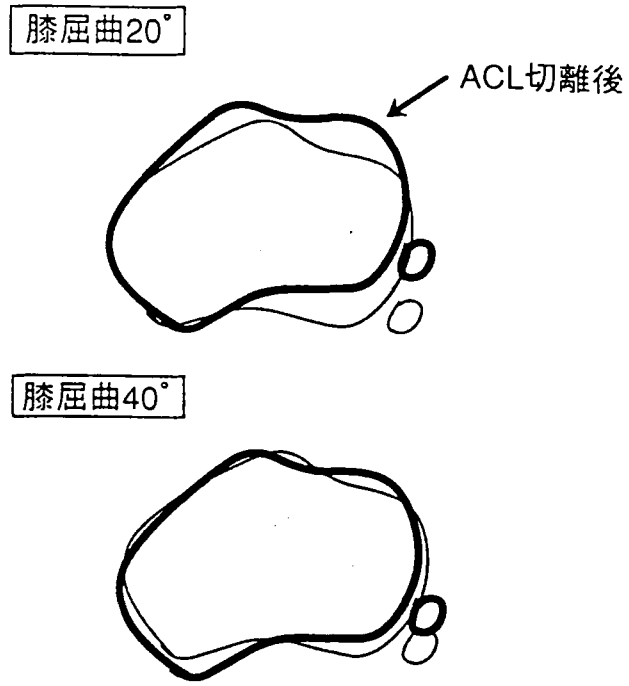


図10　負荷を加える前の脛骨の位置に対してＡＣＬ切離後に外反トルク・内旋トルクを加えた時の脛骨の変位を示す。屈曲20°ではＭＣＬ付近に回旋中心があり脛骨の内旋，前方変位は顕著であるのに対し，屈曲40°では回旋中心は内側に移動し脛骨の内旋，前方変位は少なかった。

ま と め

1．ACLの内旋制御における制動効果は伸展位付近で有効であったが，各bundle のいずれが優位に機能しているかは結論できなかった。

2．切断屍肢において腸脛靱帯に牽引を加えつつ外反，内旋のトルクを同時に加える事によりpivot shift で生じる膝屈曲に伴う整復現象を明確にし得た。

3．pivot shift での外反，内旋トルクの役割は軽度屈曲位での脛骨の変位をより強調する事であり，また加える内旋トルクが過度であると整復現象は生じない。

謝　辞

本実験は，兵庫県立総合リハビリテーションセンター付属中央病院において行ったものであります。実験装置の考案制作および実験方法には義肢装具開発課の雨森邦夫，中川昭夫両氏に御指導賜り深謝致します。

（本論文の要旨は第75回中部日本整形外科災害外科学会において発表した。）

文　献

1) Fukubayashi, T., Torzilli, P.A., Warren, R.F.:An in vitro biomechanical evaluation of anterior-posterior motion of the knee. J. Bone Joint Surg., 64-A : 258-264, 1982.
2) Hughston, J. C., Andrews, J. R. ,Cross, M. J., Moschi, A.: Classification of knee ligament instabilities Part 2. The lateral compartment. J. Bone Joint Surg., 58-A: 173-179, 1976.
3) Galway, H. R., Beauprè, A., MacIntosh, D. L.: Pivot Shift: a clinical sign of symptomatic anterior cruciate insufficiency. In proceedings of the Canadian Orthopaedic Association. J. Bone Joint Surg.,54-B : 763-764, 1972.
4) Girgis, F.G., Marshall, J.L.: The cruciate ligaments of the knee joint. Clin. Orthop., 106 : 216-231, 1975.
5) Lipke, J. M., Janecki, C.J., Nelson, C. L.: The role of incompetence of the anterior cruciate and lateral ligaments in anterolateral and anteromedial instability. J. Bone Joint Surg., 63-A : 954-960, 1981.
6) Zarins, B., Rowe, C. R.: Rotational motion of the knee. Am. J. Sports Med., 11: 152-156, 1983.
7) Lane, J., Rangger, C., Kaufman, K., Irby, S., Daniel, D.: Evaluation of the ACL in controlling axial rotation. Trans. Orthop. Res. Soc., 16 : 236, 1991.
8) Norwood, L. A., Cross, M. J.: Anterior cruciate ligament: functional anatomy of its bundles in rotatory instabilities. Am. J. Sports Med., 7: 23-26, 1979.
9) Nielsen, S., Ovesen, J., Rasmussen, O.:The anterior cruciate ligament of the knee:An experimental study of its importance in rotatory knee instability. Arch Oethop. Trauma Surg., 103 : 170-174, 1984.
10) Noyes, F. R., Bassett, R. W., Grood, E.S., Butler,D.L.:Arthroscopy in acute traumatic hemarthrosis of the knee. J. Bone Joint Surg., 62-A : 687-695, 1980.
11) Odensten, M., Lyshol, J., Gillquist, J.:The ourse of partial anterior cruciate ligament ruptures. Am. J. Sports Med., 13 : 183-186, 1985.
12) Sandberg, R., Balkfors, B.: Partial rupture of the anterior cruciate ligament. Clin. Orthop., 220 : 176-178, 1987.
13) Galway, H. R., MacIntosh, D.L.: The lateral pivot shift: A symptom and sign of anterior cruciate ligament insufficiency. Clin. Orthop., 147:45-50, 1980.
14) Hughston, J. C., Andrews, J. R., Cross, M. J., Moschi, A.: Classification of knee ligament instabilities Part 1.The medial compartment and cruciate ligaments. J. Bone Joint Surg., 58-A : 159-172, 1976.
15) Slocum, D. B., James, S. L., Larson, R. L., Singer, K. M.: Clinical test for anterolateral rotary instability of the knee. Clin. Orthop., 118 : 63-69, 1976.
16) Losee, R. E., Johnson, T. R. ,Southwick,W. O.: Anterior subluxaion of the lateral tibial plateau. J. Bone Joint Surg., 60-A : 1015-1030, 1978.
17) Tamea, C. D., Henning, C. E.: Pathomechanics of the pivot shift maneuver. An instant center analysis. Am. J. Sports Med., 9 : 31-37, 1981.
18) Jakob, R. P., Hassler, H., Staeubli, H.-U.: Observation on rotatory instability of the lateral compartment of the knee. Acta Orthop. Scand., 52 : 1-32, 1981.
19) Losee, R. E.: Concepts of the pivot shift. Clin. Orthop., 172 : 45-51, 1983.
20) H. Matsumoto: Mechanism of the pivot shift. J. Bone Joint Surg., 72-B : 816-821, 1990.

Instability of the knee after transection of anterior cruciate ligament: An experimental study on pivot shift using cadaveric knees

Hisaya Kitazawa[1] Sinichi Yoshiya[2]
Masahiro Kurosaka[3] Kazushi Hirohata[3]

1) Department of Orthopaedic Surgery, Hyogo Prefectural Kakogawa Hospital
2) Department of Orthopaedic Surgery, Meiwa Hospital
3) Department of Orthopaedic Surgery, Kobe University School of Medicine

ABSTRACT

The effect of transection of anterior cruciate ligament (ACL) on knee instability was analyzed using eight cadaveric knees. Valgus and internal rotational torques were applied to the tibia either separately or simultaneously. Then, anterior translation and internal rotation of the tibia were respectively measured with computed tomography and potentiometer. It was found that ACL restrained excessive internal rotation of the tibia and this function was dominant in extension. Reduction of the displaced tibia in flexion, as seen in clinical pivot pivot shift test, could be induced in this cadaveric experiment. However, this phenomenon was observed only in the presence of valgus torque, appropriate internal rotational torque and traction of the iliotibial band.