

氏名(本籍)	かな もり あき ひろ 金 森 章 浩 (茨 城 県)
学位の種類	博 士 (医 学)
学位記番号	博 乙 第 1755 号
学位授与年月日	平成13年6月30日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
審査研究科	医学研究科
学位論文題目	The Forces in the Anterior Cruciate Ligament and Knee Kinematics During a Simulated Pivot Shift Test : A Human Cadaveric Study Using Robotic Technology (ピボットシフトテストに対して膝関節前十字靭帯内に生じる張力および膝関節キネマティクス：ロボティクスを用いたヒト屍体膝での研究)
主査	筑波大学教授 医学博士 坂井 悠 二
副査	筑波大学教授 医学博士 赤 座 英 之
副査	筑波大学教授 理学博士 久 野 節 二

## 論 文 の 内 容 の 要 旨

### (目的)

膝関節において前十字靭帯（以下ACL）は、脛骨に前方力が与えられた際の脛骨前方移動を制限する最も重要な支持機構である。しかし、ACLが前方力以外の脛骨に与えられる外力（内旋トルクや外反トルク）に対しても脛骨の移動を制御するかどうかという点については、未だ結論が出ていない。本実験の目的は、膝関節にこれらの回旋トルクを与え、正常膝、ACL損傷膝での膝関節キネマティクスを測定し、同時にACLに生じる張力を測定することである。

### (方法)

本実験は、ロボットとフォースモーメントセンサーを組み合わせたテストシステムを用いて施行した。このテストシステムは、膝関節の6自由度の動きを制限することなくロボットマニピュレーターとフォースモーメントセンサーが協同して、膝関節にある外力を与えた場合に膝関節の6自由度でのキネマティクスを記録することが可能であり、これをフォースコントロールと呼んだ。またACLを切離した後に、正常膝関節でのキネマティクスを繰り返し、膝関節内に生じた新たな張力を記録した。切離前後の膝関節内の張力を比較することで、ACLに生じた張力を非接触的に計測することが可能で、この過程をポジションコントロールと称した。

新鮮凍結屍体12膝を用いて本実験を施行した。屍体膝関節を軟部組織を保ったままテストシステム上に設置し、1) 内旋トルク10Nm, 2) 内旋トルク10Nmと外反トルク10Nmを同時に与えるピボットシフトテストを模擬した混合トルクの2つの外力を膝関節屈曲0, 15, 30, 60, 90度で膝関節に与えた。前述したフォースコントロールとポジションコントロールとを用いて、正常膝関節とACL不全膝での膝関節のキネマティクスおよびACL内に生じた張力を測定した。統計学的手法として、反復測定分散分析を用いた。有意差は、 $p < 0.05$ に設定した。

### (結果)

膝関節に内旋トルクを与えると、ACL不全膝では正常膝と比較して、脛骨前方移動量が膝屈曲0, 15, 30度において、それぞれ94, 48, 19%と有意に増加した。ピボットシフトテストを模した混合力が与えられた場合も同

様に、ACL切除後に同じ膝屈曲位において、103, 61, 32%の有意な増加が認められた。ACL不全膝での、それぞれ外力に対する脛骨前方移動量を比較すると、混合力の場合において有意に脛骨前方移動量が大きかった。脛骨内旋回転量は、いずれの外力においてもACL切除後に有意に増加した。しかし、この増加は3度以内と小さいものであった。

ACLに生じた張力は、内旋トルクを与えた場合には膝屈曲0, 15度でそれぞれ69, 66Nであった。この張力は、膝関節屈曲が増加するにつれて減少した。一方、混合トルクに対するACLの張力は、同じ膝屈曲位で83, 93Nであり、内旋トルクと比較して有意に大きかった。

#### (考察)

本研究において、ACLは内旋トルクに対する脛骨内旋回転量を制御しないという過去の研究と同様の結果が得られた。しかし、それらの研究は脛骨の他の方向への移動量には注目していなかった。今回脛骨の前方移動量も同時に測定することで、ACLは特に膝関節伸展位での内旋トルクに対する脛骨前方移動を制御していることが示された。膝関節伸展位で、ACL内に60Nをこえる張力が生じたという結果も、ACLのこの外力に対する重要な役割を示している。

さらに、内旋トルクに外反トルクを加えた混合トルクに対しても、ACL切除後の脛骨前方移動量が有意に増加し、またACLに生じた張力も増加した。これらの結果は、膝関節の動きが非拘束である場合には、外反トルクは脛骨を前方に移動する作用を持つという過去の報告を裏付けるものである。臨床の場において、この混合力を膝関節に与えてACL損傷を診断するピボットシフトテストが存在するが、このテストの意義については、単独ACL損傷によっておこるものか、それとも他の靭帯損傷の存在下に認められるかとの議論が繰り返されている。本実験の結果から、ACL損傷はこの外力に対する膝関節の前方への動揺性を生じることにより、ピボットシフトテストが陽性になることが明らかになった。

先行研究によれば、股関節から膝関節へと達する腸脛靭帯もこのピボットシフトテストの結果に影響が与えると報告されている。本実験は、膝関節も大腿骨、脛骨とも中央部で切断して用いたため、腸脛靭帯の役割は考慮されていない。従って今後は、腸脛靭帯に緊張を与えるなどの、正常膝関節にいつそう近い状態を再現しながら、ACLの機能を研究していくことが望まれる。

### 審 査 の 結 果 の 要 旨

従来そのbiomechanicalな機能をめぐって必ずしも細部で一定の見解の得られなかったACLに関し、ロボットとフォースモーメントセンサーを組み合わせた精緻なシステムを使用し、ACL正常/不全の屍体膝を用いることにより、厳密な条件下(外力付加, 6自由度のキネマティック)で定量的な計測を行うことによりACLの機能をより明確にしたことは評価できる。今後更に生理的条件に近づけ、ACL障害・再建の評価に用いる合理的な理学検査の開発にも寄与することを期待したい。

よって、著者は博士(医学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。