

## 膝前十字靭帯に負荷を生じさせる力学的因子の 推定-矢状面膝関節数理モデルを用いた検証-

新潟医療福祉大学医療福祉学研究科 徳永由太  
江原義弘  
医療法人秀匠会わしざわ整形外科 田中悠也  
加藤義肢製作所 郷貴博

### 【背景】

膝前十字靭帯 (ACL) 損傷は膝関節に重篤な機能障害をもたらす疾患であり、機能障害を克服するまでには多大な労力と費用を要する。しかし、ACL 損傷後のリハビリテーションの方法論は現在でも十分に確立されておらず、更なる科学的根拠を提示することが必要であると考えられる。

ACL 損傷に対するリハビリテーションを考える上で歩行時にどのような力学的メカニズムを介して ACL に負荷が生じているのかを知ることは重要である。そこで本研究では矢状面膝関節数理モデルを用いた解析により ACL 張力負荷、並びに ACL へ張力負荷を生じさせる原因となる脛骨引き出し力を定量化することで、歩行時の ACL 張力負荷生成メカニズムを解明することを目的とした。

### 【方法】

対象は計測に先立ち書面および口頭にて十分な説明を行い、同意を得ることのできた健康成人女性 10 名 (年齢 20.9 ± 0.3 歳, 体重 49.5 ± 2.7kg, 身長 158.9 ± 3.7cm) とし、快適速度での歩行を行った。計測には CCD カメラ 11 台を含む 3 次元動作解析装置 (Oxford Metrics Inc.), 床反力計 (AMT Inc.) 6 台, Ag/AgCl 電極 (Blue Sensor NF-50 : Ambu Inc.) を用いた表面筋電図計測機器一式を使用した。データ処理ソフト Body Builder (Oxford Metrics Inc.) を用いて運動学・運動力学データを算出した後に MATLAB (Mathworks Japan Inc.) にて遮断周波数 3Hz の 2 次の zero-lag Butterworth low-pass filter の処理を行った。EMG データは MATLAB にて周波数帯域 20-450Hz の Zero-lag Band-pass filter, 全波整流, 遮断周波数 3Hz の 2 次の zero-lag Butterworth low-pass filter の処理を行った。EMG データおよび関節モーメントを基に筋電図情報を用いた最適化手法によって膝関節周囲筋の筋張力を算出した。算出された筋張力を膝関節数理モデル<sup>1)</sup> に入力することで脛骨引き出し力を算出し、脛骨引き出し力を基に ACL に生じる負荷を算出した。

### 【結果】

脛骨引き出し力の結果を図 1 に示す。大腿四頭筋による脛骨前方引き出し力は二峰性の波形を示した。第 1 のピークは立脚初期に生じ、166.9N であった。第 2 のピークは立脚後期に生じ、73.3N であった。ハムストリングスによる脛骨後方引き出し力は 2 つのピークを示した。第 1 のピークは立脚初期に生じており、49.9N であった。その後は減少し、活動は見られなくなったが、立脚期後半より再び増大し、遊脚期後に最大で 99.4N となる第 2 のピークを示した。

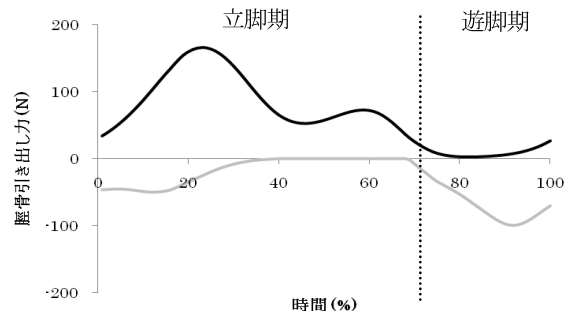


図 1. 脛骨引き出し力. 黒実線が大腿四頭筋, 灰実線がハムストリングスを表している。

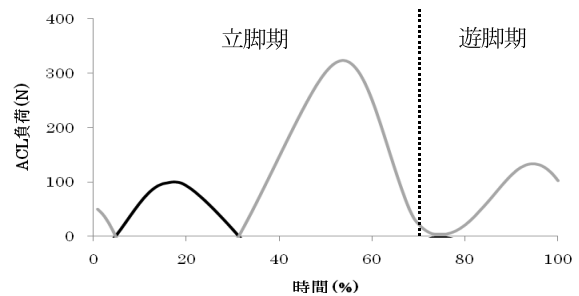


図 2. 推定した靭帯の張力負荷. 黒実線が ACL 張力負荷, 灰実線が後十字靭帯 (PCL) 張力負荷を表している。

推定された ACL 張力負荷を図 2 に示す。推定された ACL 張力負荷は踵接地後より増大し、最大で約 100N となった。

### 【考察】

歩行時に生じる ACL 張力負荷は最大で約 100N であった。立脚初期では膝関節の安定性を得るために大腿四頭筋が大きく活動するため、大腿四頭筋による脛骨前方引き出し力が大きく作用する。このために課題動作中最大の ACL 負荷が生じたと考えられた。

立脚中期以降は大腿四頭筋による脛骨前方引き出し力が働いており、かつハムストリングスによる脛骨後方引き出し力が働いていないにも関わらず、ACL 張力負荷が生じなかった。これは床反力などの外的力学的因子が影響している可能性が考えられる。Myers ら<sup>1)</sup> は床反力の影響を明確に定量化することは困難であるが、数理モデルの特性上、床反力の影響は反映されており、床反力の作用方向次第では ACL 張力負荷を大きく減少させる可能性があることを報告している。このことから歩行動作では外的力学的因子の影響により ACL 張力負荷が軽減されている可能性が示唆された。

### 【結論】

歩行動作では大腿四頭筋による脛骨前方引き出し力が常に作用しているが、外的力学的因子が作用することで ACL に生じる張力負荷を減少させている可能性が示唆された。

### 【引用】

Myers CA, Hawkins D : Alterations to movement mechanics can greatly reduce anterior cruciate ligament loading without reducing performance. J Biomech 2010 ; 43 :2657-64