

【目的】 前十字靭帯（ACL）とは膝関節に存在する強度に優れた靭帯であり、膝関節の安定性を保つ役割を担っている。本靭帯は、スポーツなどにおけるジャンプや切り返し動作など、強い負荷が加わった際に損傷や断裂が引き起こされることが知られている。治療においては、自然治癒が難しいことから、多くの場合は新たな靭帯を移植する外科的再建術が適用される。すなわち、グラフト（再建材料）選択においては、ACL が本来持つ生体材料としての強度評価が非常に重要であるといえる。また、ACL は解剖学的に前内側線維束（AMB）と後外側線維束（PLB）に分けられる。過去の研究ではブタやウシなどの ACL を採取してヤング率等を測定した報告があるが、人体の膝関節内における AMB・PLB の膝屈曲角度による張力変化および粘弾性特性の詳細は明らかになっていない。また ACL 再建術における最適なグラフト選択についても議論が続いている。そこで本研究では、人体の膝関節内の計測に特化したトランスデューサを開発し、ヒト解剖体の膝関節内に設置することで、AMB および PLB の膝屈曲角度に対する張力測定を行う。さらに再建手術時において力学的に代替可能な再建材料を明らかにするために、AMB および PLB の粘弾性特性を引張試験により明らかにし、最適なグラフト選択のための力学指標の確立を狙う。

【方法】 実験には、ヒト前十字靭帯の大きさ・形状に合わせた L 字型の楔形トランスデューサを開発し、等方性強度に優れている樹脂材料を出力可能な光造形 3D プリンターを用いて作製した。解剖実習体 1 体を対象とし、楔形トランスデューサによる AMB および PLB の張力測定と引張試験機による粘弾性測定を実施した。張力測定では、膝屈曲角度とトランスデューサに貼付したひずみゲージの出力電圧値の関係を定量化した。粘弾性測定では、引張試験機によって 5%、10%、15% のひずみを与えた際の張力変化を基に、各線維束をばね・ダッシュポット要素からなる 3 要素個体モデルとして表し、弾性率と粘性率の値を明らかにした。

【結果】 開発した楔形トランスデューサによる計測により、各線維束における膝屈曲角度に対する張力を明らかにしたところ、膝屈曲角度が大きくなるに従い、両線維束の張力が増加していることが確認できた。また、全屈曲角度において、AMB の張力が PLB に比べて大きな値を示す結果となった。次に、各線維束に対する応力緩和試験の結果を基とした 3 要素個体モデルのパラメータフィッティングでは、ひずみが大きくなるに従い弾性率および粘性率が増加していることが確認できた。また、全てのパラメータにおいて AMB が PLB に対して高い値を示していることが確認できた。すなわち、材料特性としてばね・ダッシュポットの性質を強く有するのは AMB だと考えられる。本結果を基に、今後測定対象を様々なグラフト材料に拡大し、さらなる検討を重ねる予定である。

膝関節内における前十字靭帯および構成線維束の概要図

