

論文内容要旨

Comparison of the mechanical properties and
mechanical damages to tendon tissue in three
suspensory fixation techniques

(3つの suspensory fixation device の力学的特性
と腱組織に及ぼす損傷程度の比較)

Asia-Pacific Journal of Sports Medicine,
Arthroscopy, Rehabilitation and Technology,
Volume 30: 1-8, 2022.

主指導教員：安達 伸生教授

(医系科学研究科 整形外科学)

副指導教員：味八木 茂講師

(広島大学病院 未来医療センター)

副指導教員：大段 秀樹教授

(医系科学研究科 消化器・移植外科学)

加納 利哉

(医歯薬保健学研究科 医歯薬学専攻)

背景：前十字靭帯（ACL）損傷は膝関節の外傷の中で最も多い。ACL 再建術では、一次安定性が高く、侵襲が少なく、手術が簡便であることから、suspensory fixation device (SFD) が普及している。一般的な SFD には、fixed length loop device と adjustable length loop device の 2 種類がある。構造の違いや初期緊張法の違いから、腱の機械的特性や損傷は器具によって異なることが予想されるが、これまでこれを検討した文献はない。本研究では 3 つの異なる SFD の引張り試験における長さ変化を比較すると共に、SFD と腱組織が接触する部位における腱組織の表面構造の比較検討を行った。

方法：第一に fixed length loop device としての simple loop device (SLD) と第一世代および第二世代の adjustable length loop device (AD1、AD2) の機械的特性を試験した (isolated device testing)。次に、ウシの下肢伸筋腱を用いて各デバイスを試験した (specimen testing)。各試験のサンプル数はそれぞれ 6 とし、試験条件は 50N で 30 秒予備張力負荷後、50N~250N の繰り返し張力を 2000cycle 行い、それぞれの長さ変化を計測した。Isolated device testing の cyclic 試験後に、デバイスが破損するまで張力をかけ、最大破綻強度を調査した。specimen testing の cyclic 試験後に、Optical Coherence Tomography (OCT) と独自の組織学的スコアリングシステムを用いて、腱の表面構造を定量的に評価した。

結果：Isolated device testing で各デバイスの長さ変化は SLD ($0.57 \pm 0.10\text{mm}$) が最も少なく、AD1 ($1.14 \pm 0.13\text{mm}$)、AD2 ($1.21 \pm 0.29\text{mm}$) の順であった。Specimen testing での長さ変化は SLD ($1.77 \pm 0.20\text{mm}$) が最も少なく、AD1 ($2.47 \pm 0.31\text{mm}$)、AD2 ($2.77 \pm 0.56\text{mm}$) であった。最大破綻強度は AD2 ($1682 \pm 151\text{N}$) が最も強く、SLD ($1419 \pm 122\text{N}$)、AD1 ($836 \pm 40\text{N}$) の順であった。OCT 値は、AD1 の方が SLD および AD2 よりも有意に高く、腱表面の構造がより乱れていた。組織学的には、AD1 は SLD および AD2 よりも有意にスコアが低く、表面形態が損傷していた。

考察：本研究の最も重要な発見は、腱表面の損傷がデバイスごとに異なるということである。腱表面にかかる単位面積当たりの力は接触するループの径に反比例するため、細かいループを使用すると、腱の懸垂部分にかかる力が大きくなる。Adjustable length 機構を持ち、直径が小さい AD1 は、腱の表面構造に影響を与える可能性が示唆される。また、adjustable length loop device の Chinese finger trap 構造は、長さの調節を可能にするための重要な機構であるが、初期張力を確実にかけることがループの伸長を防ぐために重要である。AD1 は単純な構造であるため、ループ調整時に十分な張力をかけやすいが、AD2 はループを 3 つ有しており、すべてのループに緊張をかけることが難しく、2 つのループがシースに収納されているため、シースとループの間に隙間が大きく、十分な張力が与えられないとループが緩み、長さに影響が出る可能性がある。

結論：AD1 は、臨床的に適切な設定において、懸垂部位で最大の移植片組織損傷を示した。Adjustable で細かいループ構造が、ループ調節時の摩擦応力または反復的な緊張応力を増大させ、移植片の損傷を引き起こした可能性がある。