

## 1117 生体由来の接着物質による骨・靭帯結合

The bone and ligament combination by the adhesion substance of the living body origin

○ 岡村 卓 (宇都宮大学院) 正 酒井 直隆 (宇都宮大院) 正 嶋脇 聡 (宇都宮大院)

Suguru Okamura, Naotaka SAKAI and Satoshi SHIMAWAKI

Dept. of Mechanical Systems Engineering, Utsunomiya Univ., 7-1-2 Yoto, Utsunomiya, 321-8585

## 1. 緒言

近年,スポーツ人口の増加に伴い膝前十字靭帯損傷のケースが増加をたどっている.一般に,靭帯の機能・役割等に関しては明らかにされてきたにも関わらず,その靭帯と骨の結合部の力学的結合メカニズムは明らかにされていない.骨・靭帯結合部の強度は強固であるとされているが先に述べたことなどから,骨・靭帯の結合メカニズムの解明は重要な課題であると考えられる.

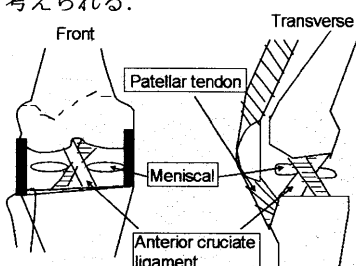


Fig.1 Knee joint

膝前十字靭帯損傷の増加に対して,現代の整形外科・スポーツ医学では,一般的に自家腱を移植する再建術が主流である.手術方法は,大腿骨と脛骨に骨トンネルを作り,その両骨の骨トンネルに採取した自家腱を通して,これらに靭帯同様の張力をかけて両骨に固定するという方法である.断裂した靭帯を縫合せずに移植腱を固定する方法が用いられている理由として,縫合させて靭帯の力学的強度が不足していることが原因である.しかし,現在の再建法では関節内での骨と靭帯の固定,移植腱と骨との付着について長年の間,問題とされてきた.

そこで,今回医学的視点からではなく,工学的視点から再建法を検討することにした.本研究の目的として,靭帯と骨を固定具を使用せずにいかに結合させるかを課題として研究を行なった.靭帯と骨を結合させる方法として,本実験では接着剤を使用した.

## 2. 実験方法

## 2.1 接着剤

本実験では,接着剤として,Cell-Tak(日本ベクトン・ディッキンソン株式会社),スーパーボンド(株式会社サンメディカル)の2つを使用した.Cell-Tak接着剤は,接着たんぱく質の混合物,ムラサキイガイから抽出されたポリフェノールタンパク質であり,海洋中の天然イガイから精製され分子構造の決まったポリデカペプチドを中心とする接着タンパク質であり,仔牛角膜,仔ハムスターじん臓,人リンパ腫などの細胞をフィブロネクチン,コラーゲン,ラミニンなどに比べより短時間で接着させるため角膜の手術時に使用されている.スーパーボンドは,拡散促進モノマーとして「4-META」,重合開始剤として「TBB」を採用したアクリル樹脂系の歯科用接着材料である.

## 2.2 モデル作製

モデル作製方法として,実験小動物用吸入麻酔装置

NARCOBIT(夏目製作所)により,ラットに麻酔をかけ,自家腱を尾から採取,その後大腿骨部にドリルで穴を開け,その穴に,マイクロチューブを使い自家腱を移植した.挿入した自家腱は治療期間中に外れないように,自家腱自身を大腿骨に結束した.

以上は自家腱をそのまま移植したモデルである.腱組織は損傷されると治療期間で周囲組織と癒着しやすくなると報告されている.そこで,今回マイクロチューブで移植腱を保護し,移植腱とナイロンを同時に移植したハイブリッドモデルも作製した.ナイロンを同時に移植したのは,人工靭帯の役割を果たさせるためである.図2左は,自家腱移植,右がその模式図である.

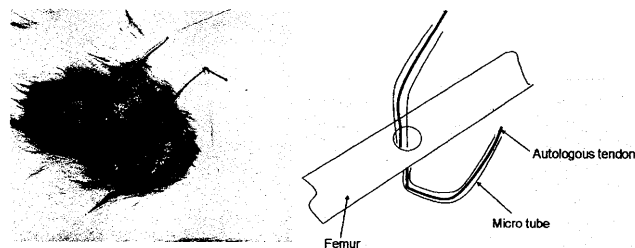


Fig.2 Autologous Tendon Grafting

1つの接着剤に対し,5例のモデルを作製し,引っ張り試験を行なった.

## 2.3 実験方法

本実験では試料としてWistar系ラット6週齢を使用する.大腿骨部にラット尾部から採取した自家腱を移植しモデルとした.モデル作製後,3週間の治療期間をおき,大腿骨部を摘出した.その後,移植腱の引っ張り試験を行ない,その結合部の強度を測定した.接着剤を使用しないモデルをcontrolとし,他の2モデルとの比較検討を行なった.

本研究では,微細な試験力の計測を行なうため,精密な単軸引っ張り試験機を用い,これにより,摘出後移植線維の引っ張り試験を行なった.装置模式図を図3に,引っ張り試験時の様子を図4に示す.

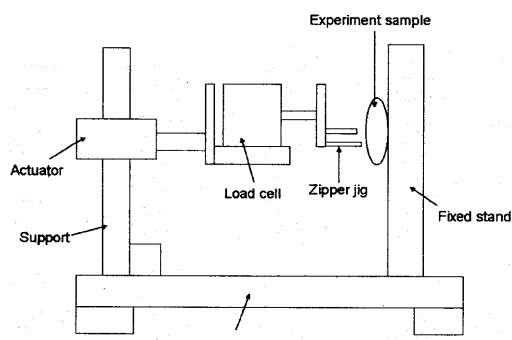


Fig.3 Equipment mimetic diagram

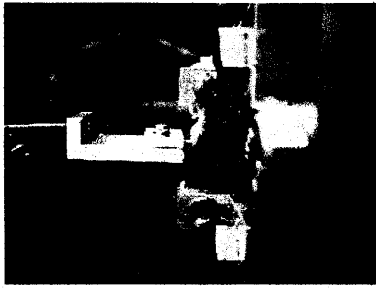


Fig.4 Tension Test

### 3. 結果と考察

移植腱をマイクロチューブで保護していないモデルと保護したモデル,それぞれ 3 モデルずつに対し,骨・靭帯結合の強度測定を行なった。しかし,いずれのモデルも自家腱が骨から抜けるのではなく,途中で切れてしまう結果になった。そこで,ここでは線維が断裂するまでの強度としての結果を示す。

#### 3.1 線維観察

マイクロチューブの保護なしのモデルでは,いずれのモデルも,引っ張り後の線維を観察したが違いは見られなかった。腱組織はいったん損傷されると治癒過程で周囲組織と癒着しやすくなる。移植腱の保護なしのモデルでは癒着した自家腱を剥離し引っ張り試験を行っていたが,剥離する際に自家腱が傷つけられて移植前よりも弱くなったと考えられる。また,マイクロチューブの保護ありのモデルでは,いずれのモデルも実験後,自家腱は残っていたり,残っていなかったりと不規則な残り方をしていたが,ナイロンはどのモデルも残っていた。

#### 3.2 試験力比較

図 5・6 にそれぞれ,マイクロチューブでの保護なしのモデル,保護ありのモデルにおける最大試験力を示す。グラフは,それぞれのモデルの平均の試験力を表し,各モデルの標準偏差を表す。

##### 3.2.1 マイクロチューブの保護なしのモデル

図 5 より,接着剤を使用していない control モデルの試験力が最も大きい結果となっていた。しかし,control モデルは標準偏差も最も大きく,各々の試料に対して試験力のバラつきが大きかった。対して,Cell-Tak,スーパーボンドモデルは接着剤を使ったにも関わらず,試験力は control モデルよりも弱い結果となったが,標準偏差としては,バラつきは大きくはなかった。本来,Cell-Tak 接着剤は細胞接着に用いられる接着剤なので,接着力という点に関してはスーパーボンドよりも劣るであろうことは,容易に想像できた。しかし,スーパーボンドモデルの試験力が control モデルよりも劣ってしまうという結果になった。本実験では,大腿骨部に骨トンネルを開け,張力をかけることなく自家腱を移植し放置しているので,線維の筋肉への癒着を避けることが出来ない。これにより,自家腱の引っ張り強度が低下しているものと推測され,加えて,繊維を筋肉からはがす際に,自家腱自体を傷つけてしまい,それ自体の強度が低下したということも考えられ,これらが 3 モデル間で試験力の有意差があまり見られなかった原因と考えられる。

##### 3.2.2 マイクロチューブの保護ありのモデル

図 6 より,接着剤として最も接着力の強いスーパーボンドが最も試験力の大きい結果となり,接着剤を何も使っていない control モデルの試験力が最も小さい結果となった。また,引っ張り試験中の試料観察では,control モデルの線維は引っ張り試験によってすべて大腿骨から抜けていたことに対し,Cell-Tak,スーパーボンドモデルの線維は線維が引

っ張り試験中に途中で切れてしまう結果となっていた。これは,移植腱を保護していなかったモデルではわからなかったことだが,線維を保護することにより腱の劣化が防げ,それにより接着剤を使ったモデルはその効果により骨と線維の固着力が強まったと考えられる。しかし,この試験力の伸びは自家腱とナイロンを共に移植したモデルだからであると考えられ,試験力の増加はナイロンによる部分が大きいと考えられる。

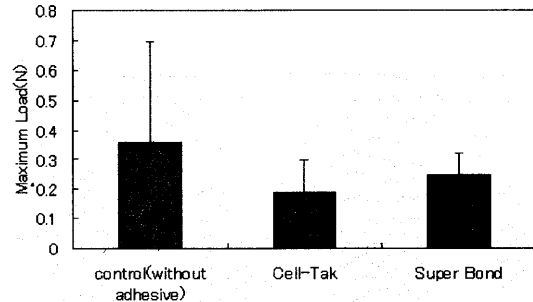


Fig.5 Influence of the adhesive material on the maximum load(model unprotected by a micro tube)

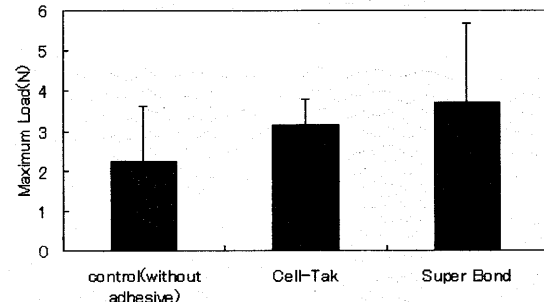


Fig.6 Influence of the adhesive material on the maximum load(model protected by a micro tube)

### 4. 結言

本研究では,スーパーボンド,Cell-Takの2つの接着剤を用いたモデルと接着剤を入れない control モデルを作成し,骨孔内における骨・靭帯の結合を行い,静的引っ張り試験を行なって力学的に接着剤による試験力の違いを解析した。その結果,以下の結論を得た。

- (1) 生体内においては移植腱をマイクロチューブで保護しない場合,移植腱が筋肉と癒着し,繊維自体の強度が落ちることがわかった。
- (2) 移植腱をマイクロチューブで保護した場合,生体内で移植腱自体の強度低下をおおむね防ぐことができ,その場合の試験力は大きい順に,スーパーボンド,Cell-Tak,controlモデルとなることがわかった。
- (3) 接着剤を使用したモデルは control モデルと比べ,移植腱と骨との固着力が強まっていることがわかった。

### 参考文献

- [1] 山本浩之, 親水性タンパク質の水系接着, 表面 Vol.27, No.10(1989)
- [2] 迫下 勉, 廣川 俊二 靭帯と組織構造と力学特性に関する実験的研究 日本臨床バイオメカニクス学会誌, 24(2003), 65-69