

# 骨付き膝蓋腱の脛骨側初期固定強度について

The Strength of Bone-Patella Tendon-Bone Craft in All-Inside ACL Reconstruction.

八戸工業大学 小山信次

In all-inside ACL reconstruction using bone-patella tendon-bone (BPTB) graft, the tibial bone plug is fixed into the bone tunnel with an interference screw after proximally flipped onto patella tendon in order that the length of BPTB graft is corresponded to that of original ACL. However the effect of flipping the bone plug on fixation strength is unknown. In this study we assessed the differences of fixation strength depending on flip technique using porcine knees and tensile testing was carried out. We concluded that obversely flipping is better than reversely flipping in all-inside ACL reconstruction

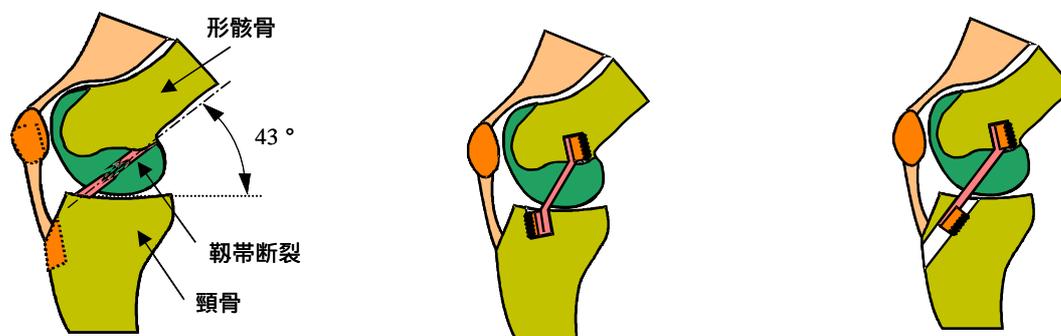
*Key words:* anterior cruciate ligament, all-inside ACL reconstruction, BPTB graft flip technique, tensile testing

## 1.はじめに

スポーツなどで強度以上の荷重が靭帯に作用し、靭帯が断裂したとき(Fig.1(a))、再建手術を行う。従来、骨付き膝蓋靭帯(BTB)の脛骨側固定方法として、関節外から骨孔を作成し、骨片を固定する endoscopic 法(Fig.1(c))が用いられてきたが、最近、骨トンネルの拡大への対策と再建靭帯を本来の前十字靭帯(ACL)の解剖学的長さ一致させるため、関節内から骨孔を作成し、関節内から骨片を固定する All-Inside ACL Reconstruction(Fig.1(b))が臨床的に応用されるようになった。

この方法では、ACL の長さ一致させるため、脛骨側の骨片を翻転するが、翻転した bone plug と靭帯の移行部で、非生理学的な方向の力が作用し強度が変化することが予想される。また、従来の方法は、再建靭帯の軸方向と骨孔の軸方向が一致するが、この方法においては、ある角度を有することから力学的に影響をおよぼすことが考えられる。

ここでは、脛骨側 BP の翻転が骨付き膝蓋腱の脛骨側初期固定強度におよぼす影響を明らかにするための基礎的研究として、新鮮な食用豚若豚の膝関節を用い、異なる固定方法の試験片を準備し、引張試験により強度を調べ、実験的検討を行った。



(a) 膝蓋腱の断裂 (b) All-Inside 法による再建手術 (c) Endoscopic 法による再建手術

Fig.1 膝関節の概略図

## 2. 供試材及び実験方法

### 2.1 供試材と試験片

本実験に用いた供試材料は食肉用若豚の膝関節部にある中央部幅 8 mm の膝蓋腱である。膝蓋腱は、脛骨より直径 13mm, 長さ 15mm の大きさの骨片 (bone plug, BP) を残して切離した骨付き膝蓋腱 (BTB) である (Fig.2)。BTB を固定する脛骨は、関節面より 65mm の位置で切断し、脛骨関節面に垂直に直径 13mm, 深さ 15mm の骨トンネルを開けた。BTB の固定は、骨トンネルに BTB の bone plug 部を挿入し、骨トンネルの壁面と bone plug の間に金属製のスクリュ - をねじ込むことによって行う。本実験では、BP の有無やスクリュ - 刺入位置と方向を変え、また、スクリュ - の代わりに縫合系を用いる等、下記に示すグループの試験片を準備した。

Group-A: BP は翻転せず、スクリュ - は関節外より BP の海綿骨側に刺入し固定 ( Fig.3(a) ) .

Group-B: BP の腱附着部が膝蓋腱の後面に接するように翻転し、スクリュ - は BP の海綿骨側に刺入し固定 (Fig.3(b) ) .

Group-C: BP の海綿骨側が膝蓋腱に接するように翻転し、スクリュ - は BP の腱附着部側面に刺入し固定 ( Fig.3(c) ) .

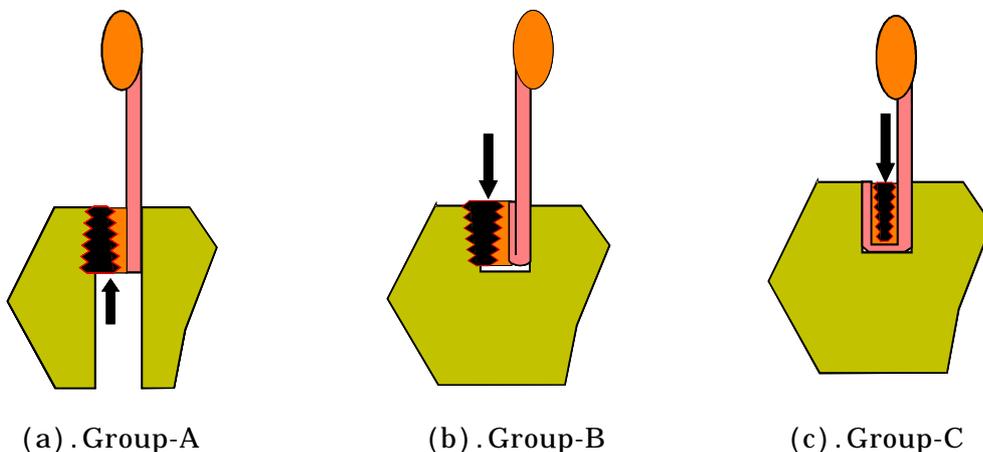
Group-D: BP は翻転せず、BP に縫合系を通し、脛骨に固定したスクリュ - で締結固定 ( Fig.3(d) ) .

Group-E: BP は翻転せず、スクリュ - は BP の海綿骨側に刺入し固定 ( Fig.3(e) ) .

Group-F: BP は翻転せず、スクリュ - は BP の腱附着部側面に刺入し固定 ( Fig.3(f) ) .



Fig.2 骨付き膝蓋腱



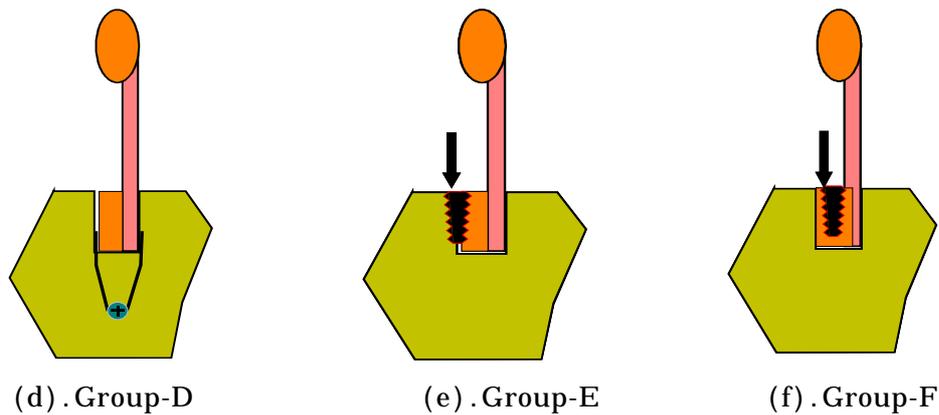


Fig.3 骨付膝蓋腱の固定方法

BPの翻転は骨トンネルにBPが合致するように整形を行い、BPの固定に使用するスクリューは直径 7mm,長さ 20mmのDepuy社製interference screw ( M.CUROSAKA<sup>TM</sup> FIXATION SCREW 7×20mm)を用い、試験片Group-Dの固定には、ETHICON社製合成非吸収性縫合糸(ETHIBOND MX69G)を使用した。

BTBの固定後、試験片掴み具で掴むため、膝蓋骨と脛骨をエポキシ樹脂で包埋固定し、この部分を試験片掴み部とした。試験片は製作後直ちに - 80 で冷凍保存し、引張試験の前日から 4 で解凍した。

## 2.2 引張試験

正常な膝関節における靭帯の頸骨軸、膝蓋骨軸との位置関係は Fig.1 の概略図の関係にあり、膝関節の屈曲角度によって、 $\theta = 43 \sim 20^\circ$  の範囲で変化する。また、靭帯の付着部位置は、頸骨軸とは一致しないことから、靭帯に引張荷重を負荷する際、試験機掴み具には曲げ荷重が作用する。従って、Fig. 4 に示す試験片取り付け装置を設計・製作した。頸骨側の固定角度は  $0 \sim 45^\circ$  度の範囲で可変であり、膝蓋骨側は、靭帯を試験機負荷方向と平行にするため、移動可能である。

引張試験には、容量 5kN のインストロン社製万能材料試験機を用い、試験片の取り付けは、膝蓋腱を負荷方向に平行にし、脛骨側を膝蓋腱に対し左回りに  $43^\circ$  傾けて行った。引張速度は、500 mm/min である。

荷重、伸びデータは、16 ビットの A/D 変換ボードを使用し、サンプリング速度 100Hz でパソコンに取り込み、計測した。



Fig.4 試験片取り付け装置

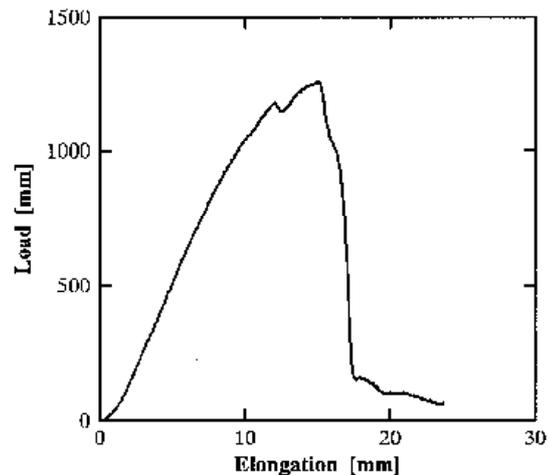


Fig.5 荷重 - 伸び曲線, Group-F

### 3. 結果および考察

#### 3.1 引張試験

実験で得られた荷重 - 伸び曲線を Fig.5 に示す . 荷重 - 伸び曲線は、直線部があり、その後、破断に至るまでの間、不連続的な形状を示す場合が多く、局部的な破壊が進行していると思われる . この曲線から、最大荷重、最大荷重時の elongation、linear load、stiffness が得られる . linear load は、フックの法則が成り立つ直線部の最大荷重から求め、stiffness は、直線部の傾きから求めた . 得られた結果を Fig.6 に示す . 図より、いずれの値も、取り付け方法の種類に対して、同様な傾向を示す . 最大荷重は、Group-F の場合に最大値が得られ、翻転した Group-B, Group-C は、いずれも翻転しない場合より低い値を示している .

#### 3.2 破断の様相

引張試験後の試験片の破断部位を観察した .

Group-A の場合、脛骨あるいは BP の骨折によって破断が生じた (Fig.7, Fig.8) . 脛骨が骨折する場合は、骨トンネルの縁から脛骨の破断に導くき裂が観察された . き裂の方向は靭帯軸方向と骨トンネル軸方向を含む面に対して垂直な方向のものが多く、靭帯軸方向と骨トンネル軸方向と  $43^\circ$  の角度を有することから、靭帯と接する骨孔の壁面には、骨孔を広げるような圧縮荷重が作用した結果き裂が生じたと思われる .

Group-B の翻転した場合は、BP の腱繊維付着部における移行部での断裂により破断する (Fig.6) . スクリューにより骨片は骨トンネルの壁面に固定されるが、翻転箇所の腱繊維は内側と外側では、曲率半径が異なるため、靭帯に作用する引張力は、腱繊維に均一に伝達されない . さらに、BP の腱繊維付着部では、非生理学的な方向の力が作用し、この力は、引き裂き型の荷重であり、他の場合に比べて強度低下を生ずる原因と思われる .

一方、Group-C の翻転した場合は、Group-B と同様、BP の腱繊維付着部より移行部で断裂により破断するが、繊維付着部に作用する力は、生理学的な方向であり、Group-B の場合より強度が得られたものと思われる .

翻転の場合は、いずれも、翻転部の幾何学的形状から、靭帯断面の外側の腱繊維には大きな引張荷重が作用し、内側の腱繊維には小さな引張荷重が作用するような状態にあり、応力分布が存在し、強度が低下する原因の1つと思われる。

Group-D の場合は、いずれも縫合糸が破断後骨片の引き抜けが生じた。

Group-E の場合、破断形態は、脛骨骨折、骨片引き抜けなど種々なものを示した。

Group-F の翻転せず、BP の海面骨側にスクリューを刺入し固定した場合は、今回の実験において、最大強度が得られた。いずれも、破断は脛骨骨折であった。

骨片を固定するスクリューの刺入位置であるが、BP の側面 (Group-C, Group-F) の場合、膝蓋腱を圧迫することなく、また、骨トンネル壁面に骨片が2点支持されるので強度的には有利である。

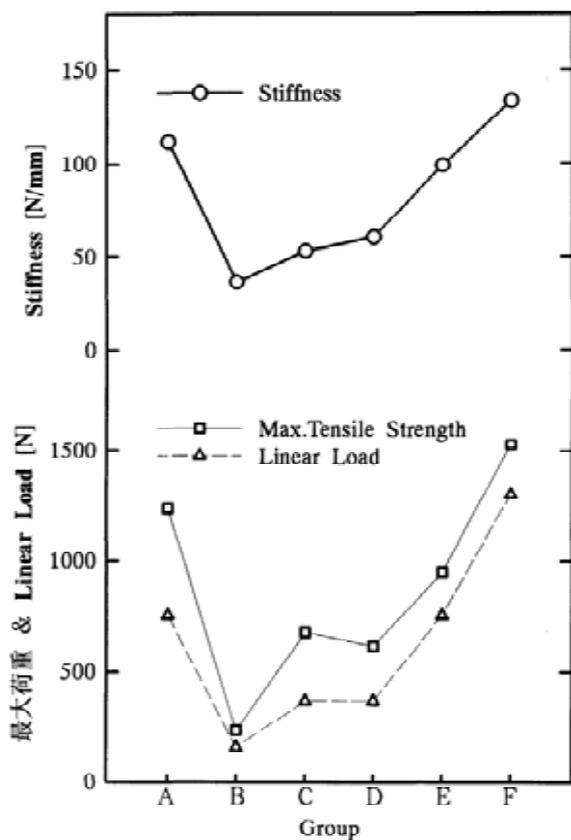


Fig.6 実験より得られた機械的性質

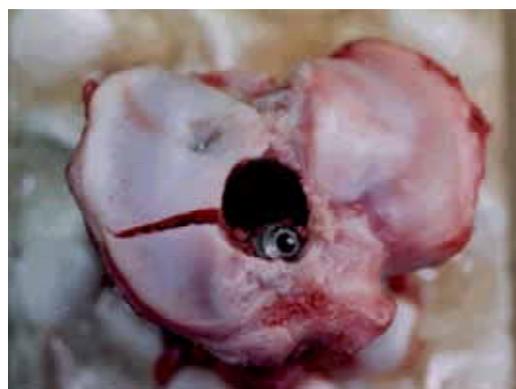


Fig.7 骨トンネルより脛骨が骨折



Fig.8 骨片が骨折



Fig.9 靭移行部が断裂

#### 4 . むすび

脛骨側 BP の翻転が骨付き膝蓋腱の脛骨側初期固定強度におよぼす影響を明らかにするため、食肉用若豚の膝関節を用い、異なる固定方法の試験片を準備し、引張試験を行った結果、次のことがわかった .

脛骨側 bone plug を翻転した場合、翻転しない場合よりいずれも固定強度の低い値が得られた .

bone plug を翻転する場合は、bone plug の海綿骨側が膝蓋腱に接するように翻転する方法がより高い強度が得られる .

終わりに臨み、本研究を進めるに当たり、ご指導いただいた弘前大学医学部整形外科岡村良久教授、同じく同科、津田英一氏に深く感謝の意を表します .

#### 参考文献

- (1) 津田他 7 名, 第 2 3 回日本臨床バイオメカニクス 学会抄録, (1996), 189.
- (2) 山本, 笹田, 整形外科バイオメカニクス入門, (1983), 南江堂