



Title	膝前十字靭帯の形状と力学的機能：靭帯再建術におけるバイオメカニクスの検討
Author(s)	山田, 康晴; 磯田, 由美; 大山, 直樹 他
Citation	電子科学研究, 2, 111-114
Issue Date	1995-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/24323
Type	departmental bulletin paper
File Information	2_P111-114.pdf



膝前十字靭帯の形状と力学的機能 ——靭帯再建術におけるバイオメカニクスの検討——

適応制御研究分野 山田 康 晴, 磯田 由 美
大山 直 樹, 山越 憲 一

現在、膝前十字靭帯再建術の成績は比較的満足されているが、正常の膝機能に比較して十分とはいえず、今後の改善が必要と考えられる。従来の再建術では isometric point という点の概念しかなく、形状にともなう前十字靭帯の詳細な機能を考慮していなかった。本研究では、実際に使用される再建靭帯で、膝屈曲伸展運動による 3 箇所長さ変化を測定し、前十字靭帯のそれと比較した。再建靭帯の長さ変化パターンは前十字靭帯のそれと異なっていたが、同じ骨孔内で再建靭帯を軸転させ固定位置を変えることにより、解剖学的な前十字靭帯の付着部に一致する固定位置では前十字靭帯と類似した長さ変化パターンとなった。

はじめに

近年、スポーツが盛んになり、膝の外傷も多く認められるが、膝のスポーツ外傷で最も多く認められるのは半月板損傷であり、膝のクッションの役割をしている線維軟骨が断裂を起こして痛みや引っかかり感を起こす場合で、関節鏡という細いカメラを通して縫合したり切除といった手術を必要とする。そしてそれと同じくらい頻度が多い前十字靭帯損傷は非常に重傷で治療にも約 1 年間という長期間を要するためにしっかりとその病態を把握する必要がある^[3]。

前十字靭帯損傷頻度をスポーツの種目別にみると、ジャンプの踏切、着地、ストップ、カット、ツイストなど減、加速力が生じる動作が多いスポーツに多く見られ、男子ではサッカー、ラグビー、女子ではバスケットに多く、北海道ではスキーでの受傷が多く見られる^[4]。受傷機転はスキーを例にあげると、1) スキーの先の部分が雪に引っかかり、膝に外反と外旋力が作用した場合、2) ジャンプ着地の時にスキー後方からの衝撃で下腿が強く前方に押し出された場合、3) バランスを崩しスキー前方が内側に入るとともに膝が内旋を強制される場合が多いといわれている^[2]。

受傷直後の症状は断裂音が認められることが多く、その後はほとんどの症例で関節血症を生じ疼痛のため

関節可動域制限、歩行障害を呈す。このような急性期の症状は約 1 週間程で軽快し、その後普通の生活に戻ってあまり不自由さを感じない人もいるが、多くはスポーツ時に膝くずれという膝がはずれるような不安感がみられるようになる。放置した場合には、関節の軟骨が傷ついて痛みや関節水腫が出現し、変形性関節症という合併症をきたして治療がより困難となる。

治療には筋力を鍛えたり、装具で膝の安定化を試みるが、多くは自分の体の一部から腱組織を取り出して移植する靭帯再建術が必要となる。ではその手術はといったのように行っているかということ、簡単には、膝の運動による移植靭帯の長さ変化が最も少なくなると思われる位置 (isometric point) で、骨に穴をあけて、取り出した腱組織を紐状にして、骨孔を通して固定するという方法で行っている。そういった手術を行って比較的満足される成績が得られているが、正常の膝機能と比較して十分とは言えず、場合によっては関節の不安定性の再発のため、再手術を余儀なくされることもあり、今後の改善が必要と考えている。

膝関節の解剖

解剖学的に、膝関節は大腿骨と脛骨、腓骨という骨が 4 つの強靭な靭帯によって支持され、そのうちの前十字靭帯は大腿骨外顆間部後上方から起始し、脛骨

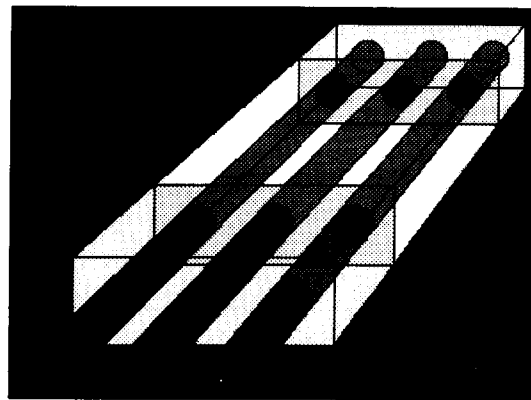
関節面前内方に付着している。そして靭帯中央から脛骨側に向かって徐々に前後方向に広がっていること、脛骨側に向かって外旋方向に捻れていることや、膝の屈曲によって3次元的形状変化をするため、前述した再建靭帯の様に単純な紐状のものとして機能しているわけではないと考えられる。

膝関節の機能

Fig.3の左に示したグラフはAmisらが人屍体膝で前十字靭帯の長さ変化を3つの部分に分け、測定した結果を示す^[1]。横軸は膝屈曲角度で、0は膝伸展位、120は膝屈曲120度を表わしている。縦軸は膝屈曲0度の時の靭帯長さを基準にmm単位で長さ変化を表わし、正が伸長、負が短縮を示す。各部分で長さ変化パターンは異なり、AMBという部分は主に屈曲するに連れて靭帯が引き伸ばされ緊張し、PLBという部分は逆に伸展位で緊張するようなパターンとなっていることがわかる。このように本来の前十字靭帯は屈曲位と伸展位で異なる線維束が緊張し、膝関節の安定性を維持していると考えられ、逆に機能的に1本の線維束だけでは全可動域における関節安定性は得られないと考えられる。再建術を行う際の従来の考え方はisometric pointという点の概念しかなく、このような各線維束の機能を考慮してはいない。また実際の臨床で再建される靭帯が各部位によってどのような長さ変化をしているのか、本来の前十字靭帯と比較して異なるのかどうかを調べた報告はない。そこで人屍体膝を用いて、実際の臨床で行うように再建し、再建された靭帯が各部位によってどのような長さ変化をしているか計測し、同じ骨孔内で固定方法を変えて、本来の前十字靭帯と比較検討した。

方 法

方法は屍体膝から再建靭帯として幅10mmの骨一膝蓋腱一骨を採取した。再建靭帯の長さ変化を計測するのに電解液(Ga-In合金)封入歪みセンサーを用いた。Fig.1に示すように先程の再建靭帯内に赤、青、緑で区別したセンサーを3つ埋入して固定した。この際に靭帯が緩んでもセンサーの直線性の領域内におさまるようにセンサーに緊張をかけて固定した。次に同じ屍体膝で大腿骨、脛骨の骨幹部中央で切断し、乾燥を防ぐために膝関節上下約10cmの部分は軟部組織



赤 青 緑

Fig.1

をそのままとし、あとの筋組織、皮膚は切除した。次に実際の臨床で行われている手順で大腿骨、脛骨に骨孔を作った。次に大腿骨骨幹部をクランプで固定し、脛骨は自由に動ける状態とするが、脛骨はその自重で常に屈曲する方向に力が作用し、脛骨に前方引き出し力がかからないように大腿骨軸を鉛直方向から30度傾けて固定し、他動的伸展には回旋力が働かないように脛骨切断端に紐を取り付けて引っばった。次に前述の再建靭帯を骨孔に通し、海綿骨ネジで固定した。固定する時に過大な張力をかけるとセンサーの限界過負荷を超える恐れがあるため屈曲45度で約1Kgの張力とした。この後、他動的膝の屈伸を何度か繰り返すを行い、各センサーの変化パターンが一定したのを確認し、伸展位から屈曲120度まで10度おきに長さ変化を測定した。

今回、再建靭帯各部位の長さ変化パターンが同じ骨孔内でも骨孔軸で回転させた固定位置では変わることが予想されたため、いくつかの固定位置を設定した。Fig.2に同じ骨孔内で再建靭帯を固定する際の固定位置を示した。上段が大腿骨側面図で、黒丸で示した骨孔内に再建靭帯が示され、その中に小さな丸でセンサーの位置を示している。赤のセンサー(★で示した側)がこの図で時計の9時方向、つまり大腿骨下方を向けて固定したものをF-1とし、そしてF-1より時計周りに大腿骨前方へ45度ずつ回転させて固定したものをF-2、F-3、F-4とした。下段が脛骨関節面を上方から見た図で、同様に赤のセンサーがこの図で時計の9時方向、つまり脛骨前方を向けて固定したものをT-1とし、そしてT-1より時計周りに90度ずつ外

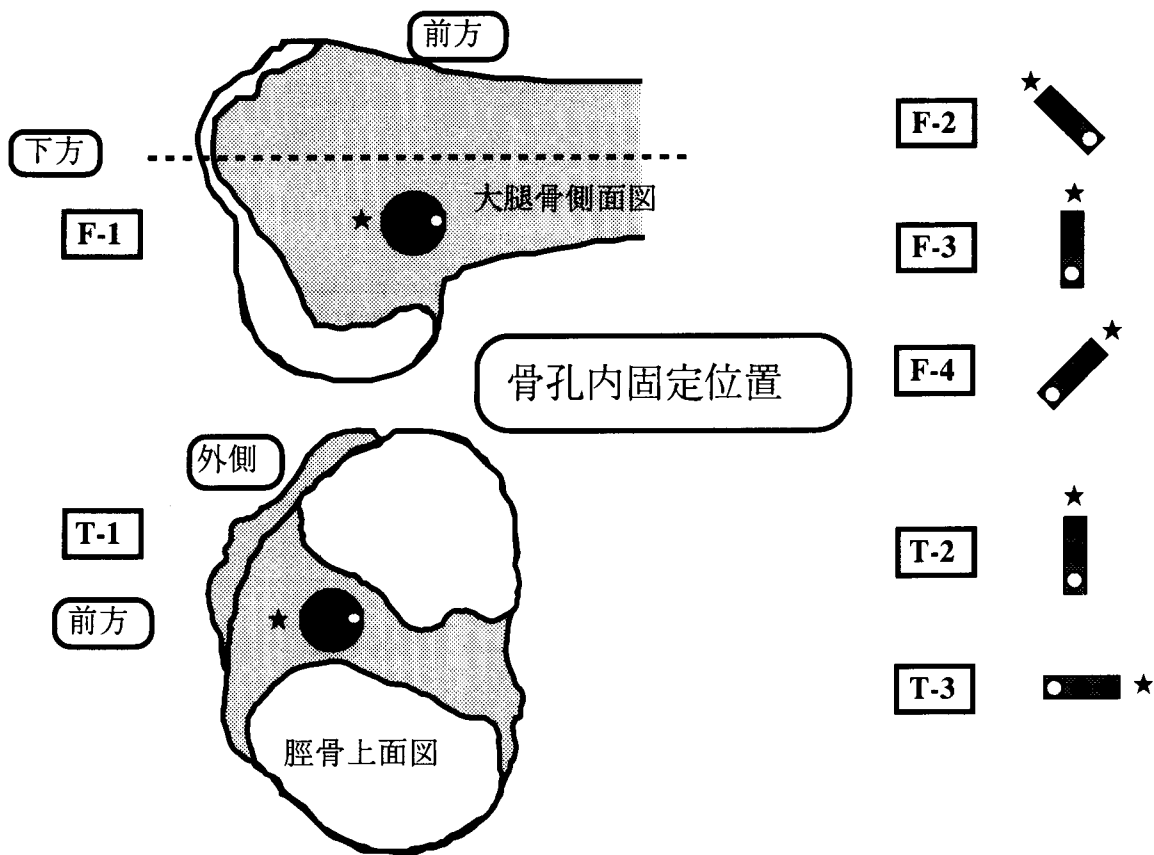


Fig.2

旋方向に回転させて固定したものを T-2, T-3 とした。そしてこれらの組み合わせで計 12 通りについて測定した。

結果および考察

Fig.3 の右に今回の結果のグラフをまとめて示した。グラフ横軸は屈曲角度で、左 0 から 120 度まで 10 度刻みに、グラフ縦軸は長さ変化を示し、伸展 0 度を基準に、上方 0 から -8 mm まで、つまり下に行くほど長さが短くなるように表わした。センサーによる長さ変化パターンは固定位置により異なるが、全般に屈曲に連れて徐々に短縮傾向のパターンを示すなかで、F-2 と T-1 の組み合わせだけが ACL と非常に類似したパターンを示した。

F-2, T-1 に固定した場合のパターンであれば、本来の前十字靭帯と同様に伸展位と屈曲位で緊張する線維束を持つ再建靭帯を作ることができると考えられる。しかし他の固定位置では各線維束によって緊張が異なるが、機能的には 1 本の線維束と同じであり、ある屈

曲角度では緊張がかけすぎたり、緩みすぎたりということが考えられる。このようなことは実際の臨床でも経験されており、伸展位では膝の前後不安定性はないが、屈曲位では不安定性があるような症例が多い。

何故この F-2, T-1 の固定位置の靭帯長さ変化が本来の前十字靭帯のそれと類似していたかについて、解剖学的に別の人屍体膝で前十字靭帯の付着部および靭帯走行について検討したところ、F-2, T-1 の固定位置での再建靭帯各線維束の走行が前十字靭帯のそれとほぼ一致していた。つまり本来の前十字靭帯の機能に近づけるためには本来の形状を再現させてやることが重要であるということである。現時点での前十字靭帯他家移植はドナーなどの問題があり現実的ではない。しかし本研究から、実際に用いる再建靭帯によっても固定位置を F-2, T-1 の組み合わせのように行えばより本来の前十字靭帯の機能に近づくと考えられる。

本研究では靭帯の長さ変化パターンを測定しているが張力については測定していないため、本当に屈曲位でも伸展位でも緊張している線維束があるか断言でき

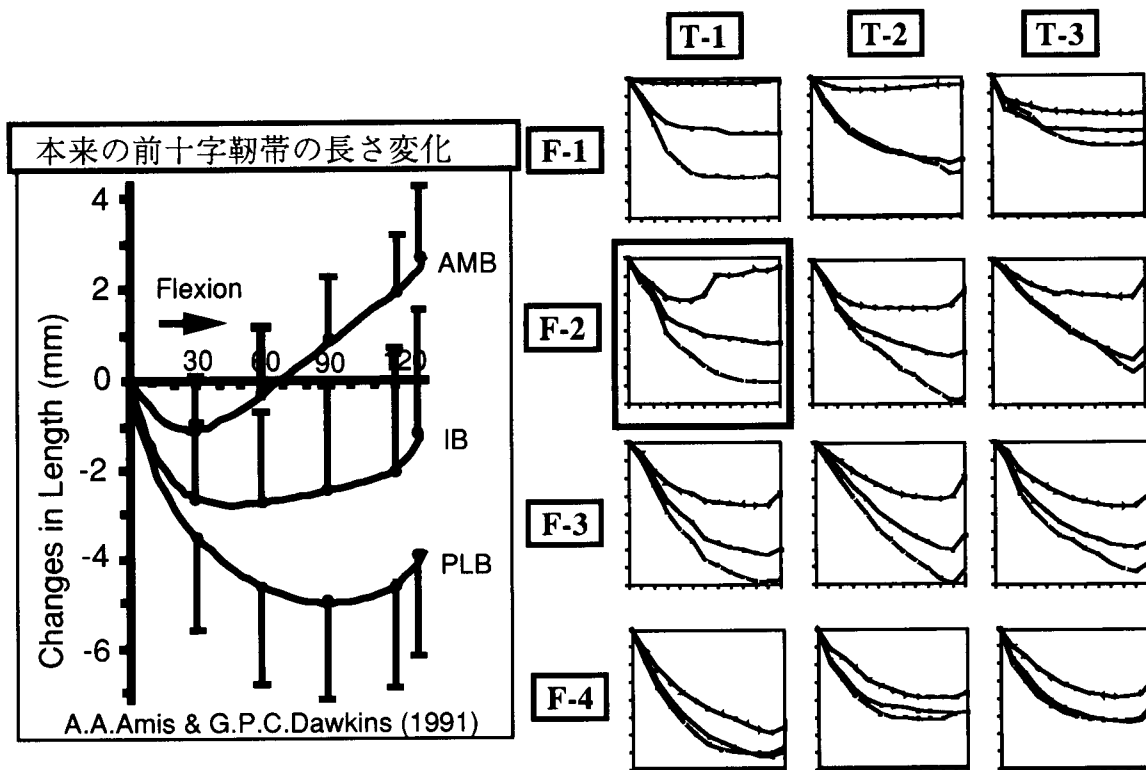


Fig.3

ない。今後は張力も同時に測定し、また前後移動量を

も評価するなどの課題があると思われる。

【文 献】

- [1] Amis, A. A., Dawkins, G. P. C.: Functional Anatomy of the Anterior Cruciate Ligament. J. Bone Joint Surg., 73-B: 260-267, 1991.
- [2] Johnson, R. J.: Prevention of Cruciate Ligament Injuries, ed. by Feagin, J. A., Jr., Churchill Livingstone, New York, 349-356, 1988.
- [3] 守屋秀繁, 土屋明弘: 大腿・膝関節. 骨折・外傷シリーズ No.10 スポーツ外傷・障害の予防と治療, 大島襄編, 南江堂, 東京, 221-230, 1988.
- [4] 高沢晴夫: 青・壮年のスポーツ外傷・障害の特殊性. 骨折・外傷シリーズ No.10 スポーツ外傷・障害の予防と治療, 大島襄編, 南江堂, 東京, 125-130, 1988.