

スポーツ用膝装具：臨床評価面からの検討 一膝前十字靭帯・回旋不安定性制御効果

成田 哲也*, 白井 康正*, 中山 義人*, 森 淳*
小林 薫*, 家田 俊也*, 武田 知通*, 萬歳 祐子*

はじめに

近年、膝前十字靭帯(以下 ACL)再建術の臨床成績向上はめざましく、現在は術式・後療法の工夫の時期に入っている。後療法は加速度的に早くなり、早期スポーツ復帰が可能となった反面、再建靭帯の再断裂例が少なからず報告されている。この中で必ず使用されてきた膝装具は、その効果に疑問を投げかけられ、欧米の経済的背景もあいまって使用の是非が問われている。

本稿では ACL 再建術における術後膝装具の現状を簡単に述べ、その有用性の重要なカギを握る回旋不安定性制御効果の一端を解明するため、床

反力/三次元動作解析システムを用いた研究を行ったので紹介する。

機能膝装具不安定性制御効果の歴史

膝装具は、1) 予防用膝装具、2) 機能膝装具、3) リハビリテーション用膝装具の3つに分類され¹⁾、ACL 再建術においては、術後早期の時期を除いて機能膝装具が再発防止用膝装具として用いられている。現在わが国で主に使用されているカスタムメイド機能膝装具は C.Ti-2、DONJOY-defiance、G II-extreme などであるが(図-1)、これらは本当に膝不安定性を制御、再建靭帯の安全性を確約しているであろうか？

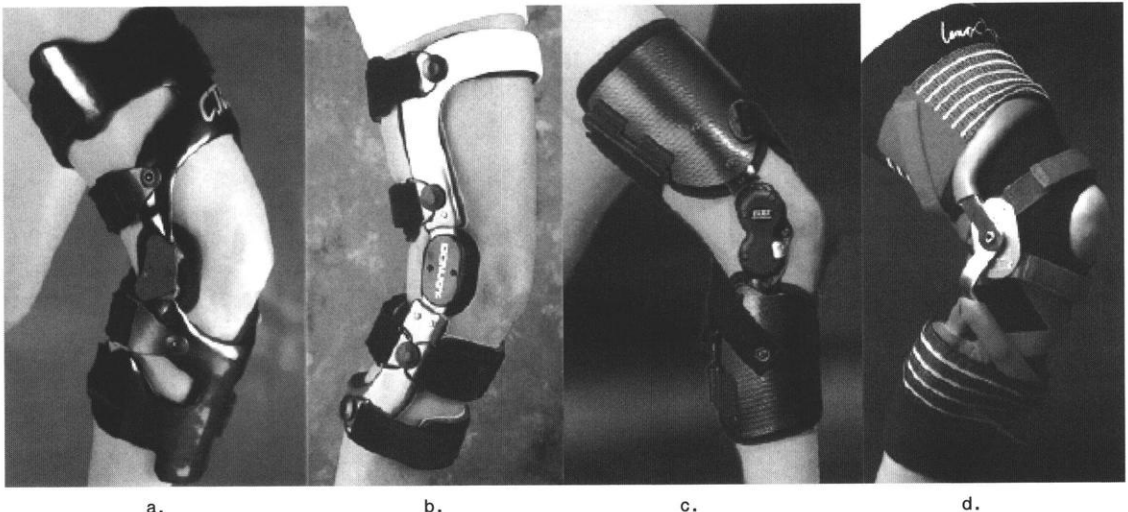


図-1 Functional Knee Brace (custom made)
a. c.Ti-2, b. DONJOY "defiance", c. G II "extreme", d. Lenox Hill "classic derotation"

* 日本医科大学整形外科



図-2 ACL 受傷の瞬間(VTR 合成)

1972年にデビューした機能膝装具の代表でもある Lenox Hill Derotation brace²⁾が、1986年頃よりその有用性に一石を投げられたことに端を発し^{3,4)}、機能膝装具の研究は前方不安定性制御効果を中心として報告されてきた⁵⁻⁷⁾。1996年 Wojtys ら⁸⁾の研究は術後膝装具の有用性を否定、Brace-Free リハビリテーションなる言葉も生まれるに至った⁹⁾。現時点での機能膝装具有用性のコンセンサスは、再受傷防止のための内外反不安定性制御や心理的サポート面などと考えられる。

ACL 受傷機転と外反・内旋損傷

ACL 受傷機転は、1) 外反・外旋損傷、2) 内反・内旋損傷、3) 過伸展損傷の3つに分類され¹⁰⁾、外反・外旋損傷は複合靭帯損傷が多く、ACL 単独損傷は内反・内旋損傷に多いとされている。しかしながらこの外反・外旋損傷に意外にも ACL 単独損傷が多いことが報告されてきた¹¹⁾。

1988年の徳重ら¹²⁾による98例の受傷機転の調査によれば、分類に入らない外反・内旋損傷が48例49%と非常に多く、その特徴はストップ・着地動作で、選手は膝が内がわに入っの受傷と表現

し、過去、外反・外旋損傷として報告されたものの多くにこのタイプが含まれていると推測できる。

図-2はバスケットボールにおける ACL 受傷の瞬間をとらえた VTR の合成写真であるが、スルーパスをゴール下に走り込んでシュートに持ち込もうとしたところ、パスが右前方に流れこれを無理な体勢でキャッチしようと上体が外旋、これをこらえようと膝外反で着地、フロアに固定された下腿が相対的に内旋したその瞬間に受傷した、典型的な外反・内旋損傷である。

床反力/三次元動作解析を用いた膝装具回旋不安定性制御効果の検討

バスケットボールは、攻守の展開が速いジャンプ競技で、床が滑らず足部が固定されやすいという競技特性の上に、膝には絶えず前後左右・回旋のストレスが加わる ACL にとって非常に苛酷な環境である。当施設ではバスケットボール選手を術後早期に競技復帰させるため、治療体系の中、膝装具を重要な位置づけとして再建術および早期後療法を行ってきた。当施設 ACL 再建術の特徴は、自家組織(四重束 STG)を全長に渡り人工素材(polyester/LK)で補強するため、初期強度がき

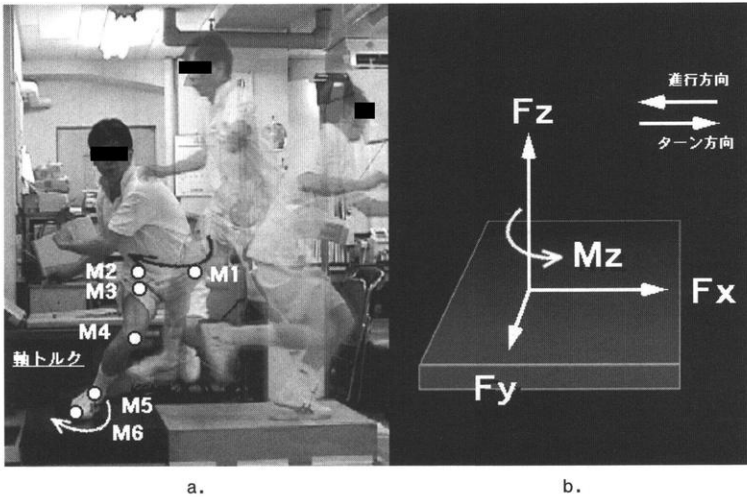


図-3 180°ターンと軸トルク(文献14より引用)

a. 180°ターン b. 床反力ベクトル

マーカー；M1：左前上棘，M2：右前上棘，M3：大腿部中樞，M4：膝蓋部，M5：足関節，M6：前足部

わめて高い点である。したがって超早期後療法が可能で、術後3ヵ月で競技トレーニングに移行、5ヵ月でゲーム復帰させる。その結果、筋力は術後5ヵ月で健側の87.5%，1年時再建靭帯2nd lookも成熟良好例が97%であった¹³⁾。

以上われわれの経験、また選手の感触からは、この治療体系の中で膝装具は必要不可欠と考えているが、その理由を解明するため以下の研究を行った。

対象および方法

対象は44歳男性の右膝で、C.Ti-2ブレース(Sigmax)をカスタムメイド、解析には、床反力/三次元ビデオ動作解析システムMA6250(アニメ社)を用いた。ターン動作は、助走1歩でフォースプレートに右脚着地、進行逆方向に180°方向転換するいわゆる180°ターンである(図-3a)。これはターン動作には上体の時計回りのひねりに伴って足部にも必ず時計回りの軸トルクが発生するという当教室研究成果¹⁴⁾に基づく、膝外反・下腿内旋ストレスのモデルである。各床反力ベクトルは、Fz垂直方向は上方、Fx進行方向は進行方向と逆方向がグラフ上正方向で、また時計回り軸トルクには反時計回り床反力Mzが発生、こ

れを正方向として表している(図-3b)。

ビデオ映像は進行方向左2方向より撮影、マーカーの位置は骨盤・大腿・足部の各軸2点ずつ計6点を設定した(図-3a)。これらマーカーの動きをスティックピクチャーとして表示し、XY面すなわち上方からみた動きを経時的に観察した。

1. 解析1—Mz/Fxの比較検討

装具を装着しない場合と、した場合とで回旋軸トルクを比較した。比較にはMzをターン方向成分Fxで除したMz/Fxを用いたが、これは個々のターン動作でその動作強度が異なるため、ストップ動作強度の指標となるFxで除することによりターン動作強度の影響が除かれ、軸トルクを相対的に比較可能となるからである。Mz/Fxの単位は(m)となるので、回転の半径 lever armとも考えられ、これが大きくなれば小さな力で同等の軸トルクを発生させることができる理屈になる。装具を装着しない場合(以下NBターン)、装着した場合(以下Bターン)で、Mz/Fx各10回の平均値の差の検定を行った。

2. 解析2—M4D/M2D比の比較検討

次にXY面における膝部のマーカーM4のheel contactから進行方向、すなわち膝外側方向への最大移動距離を両ターンで比較した。比較はやは

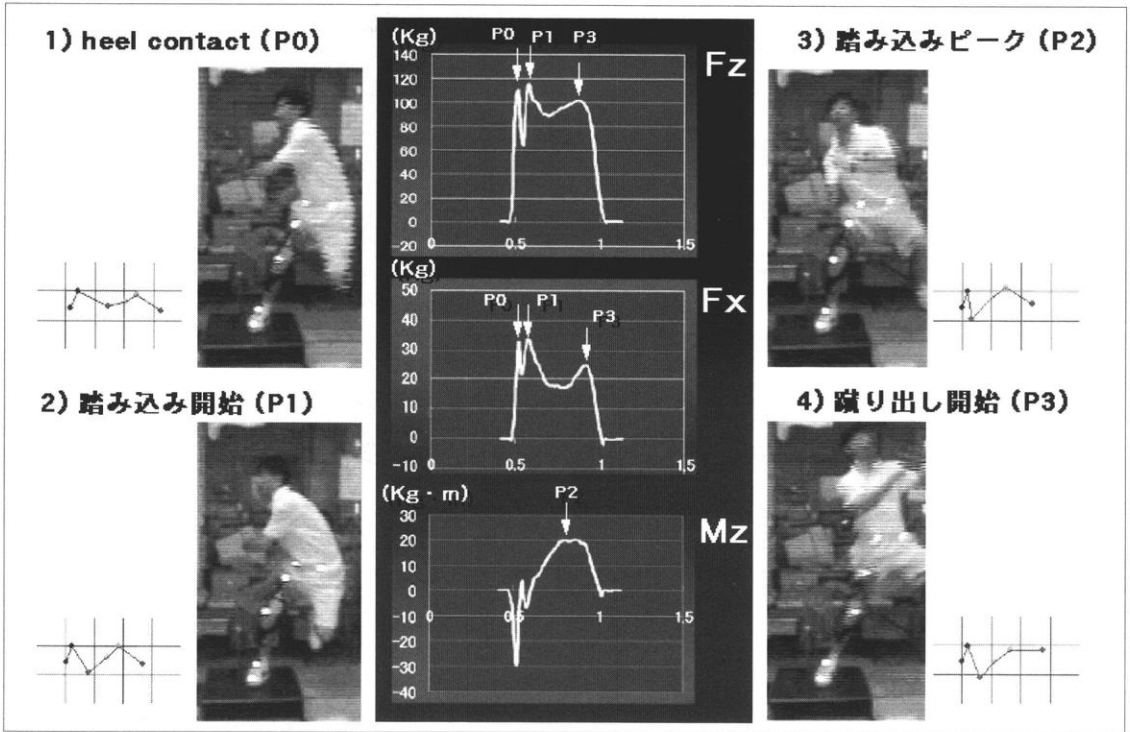


図-4 180° ターン動作で発生する床反力波形(Fz, Fx, Mz)

り同様にターン動作強度の影響を除くため、骨盤部のマーカー M2の移動距離で補正、すなわち進行方向 X 軸上の骨盤の移動距離 M2D に対する膝の移動距離 M4D の割合 M4D/M2D 比にて行った。

結果

1. 本ターン動作で発生する床反力波形(Fz, Fx, Mz)

本ターン動作で発生する床反力波形において、Fz および Fx は最初のスパイクに引き続く正方向二峰性の波形を示した(図-4)。これに対して軸トルク Mz は最初の負方向のスパイクに引き続く正方向の一峰性の波形を示した。これはターン動作では heel contact 時に反時計回りの軸トルクが一瞬かかった後、上体の捻れの力を受け時計回りの軸トルクが発生するためで、ターンの折り返しでそのピーク(P2)を迎えていた。ここで下腿内旋すなわち ACL に多大な回旋力が加わっている。

2. 解析1の結果

Mz/Fx は、NB ターンの 0.60 ± 0.03 (平均値 \pm SD)に対して、B ターンでは 0.52 ± 0.06 と、統計学的有意($p < 0.01$)にB ターンの Mz/Fx が小さい値であった。これによりB ターンはNB ターンに比べ、軸トルクの lever arm が短い、すなわち軸トルクの発生しにくいターンであることが判明した。

3. 解析2の結果

M4D/M2D 比は、NB ターン 1.66 ± 0.24 (平均値 \pm SD)に対してB ターン 1.49 ± 0.25 で、有意差は認めないもののB ターンで移動比が小さい傾向を認めた(図-5)。このことはB ターンは装具により内外反が抑えられ、その結果として軸トルクの lever arm が短くなったと考えられる。

考察

ACL に対する損傷危険性の理由から、Knee in/Toe out 姿勢は不良肢位とされ、とくに女子に

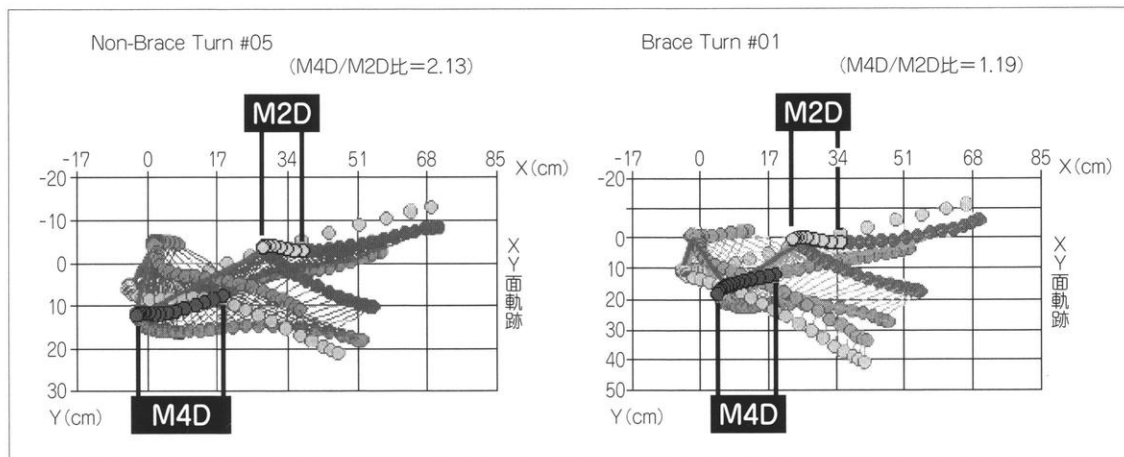


図-5 XY平面 Stick Picture

においてはこの肢位をとりやすく、女子に ACL 損傷が多い理由の1つとされている。この肢位では膝関節は外反外旋位をとり、外反により ACL は緊張、外顆部に密着する。今回の検討の NB ターンでは、Knee in/Toe out による heel contact から、踏み込みのピークにかけて膝は大きく進行方向に移動しており(図-5)、着地時外反続いて瞬時に内反のストレスが加わっていると考えられる。スポーツ動作上、下腿の外旋には必ず膝外反が、また下腿内旋には膝内反が伴うため、ターン動作においては瞬時に外反外旋・内反内旋のストレスが連続することとなる。

前述したバスケットボールにおける受傷機転は、上体のねじれに抵抗して膝外反外旋位で着地、その瞬間下腿の反時計方向のねじれによる内反内旋ストレスがかかったと推測されるが、外反外旋ストレスで顆部に密着・緊張した ACL は内反により一旦弛緩、直後に多大な内反内旋ストレスと、一連のストレスが瞬時に連続して起こり断裂に至ったものと考えられる。あたかも車の牽引時に、一旦弛んだロープで急激に牽引を行うと一瞬にしてロープは切れてしまうごとくである。

おわりに

術後膝装具の是非が問われている中、今回の検討から導かれる膝装具の膝回旋不安定性に対する有効性は、膝装具が膝外反・内反ストレスを制御

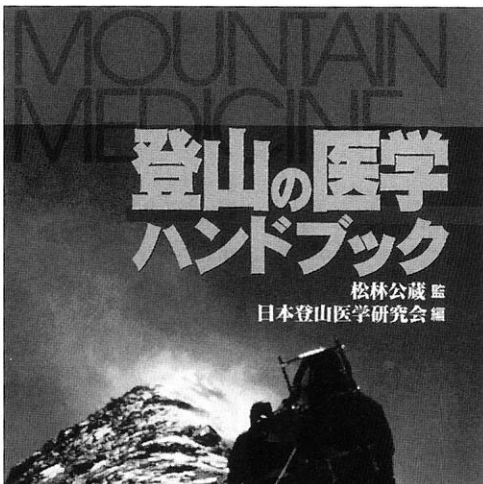
することによって、ターン動作時、間接的に軸トルクを軽減、ACL を回旋ストレスから守る機序にあると推測された。

術後膝装具は、スポーツ復帰を旨とせず ACL 再建術後療法において、筋力の十分でない時期の再発予防用膝装具として推奨されるべきものと考えられる。

文 献

- 1) 斎藤明義ら：部位別スポーツ用装具の実際-膝関節. 臨床スポーツ医学 17 : 65-75, 2000.
- 2) Nicholas, J. A. et al. : Bracing the anterior cruciate ligament deficient knee using the Lenox Hill derotation brace. Clin. Orthop. 172 : 137-141, 1983.
- 3) Bech, C. et al. : Instrumented testing of functional knee braces. Am. J. Sports Med. 14 : 253-256, 1986.
- 4) Coughlin, L. et al. : Knee bracing and anterolateral rotatory instability. Am. J. Sports Med. 15 : 161-163, 1987.
- 5) 安田和則ら：前十字靭帯不全膝に対する膝装具の効果とその限界. 膝 13 : 55-60, 1987.
- 6) Cook, F. F. et al. : A dynamic analysis of a functional brace for anterior cruciate ligament insufficiency. Am. J. Sports Med. 17 : 519-524, 1989.
- 7) Branch, E. B. et al. : Dynamic EMG analysis of anterior cruciate deficient legs with and without bracing during cutting. Am. J. Sports Med. 17 :

- 35-41, 1989.
- 8) Wojtys, E. M. et al. : Anterior cruciate ligament functional brace use in sports. Am. J. Sports Med. 24 : 539-546, 1996.
 - 9) Howell, S. M. et al. : Brace-Free rehabilitation, with early return to activity, for knees reconstructed with a double-looped semitendinosus and gracilis graft. J. Bone Joint Surg. 78A : 814-825, 1996.
 - 10) Noyes, F. R. et al. : Arthroscopy in acute traumatic hemarthrosis of the knee. Incidence of anterior cruciate tears and other injuries. J. Bone Joint Surg. 62A : 687-695, 1980.
 - 11) 案浦聖凡ら：スポーツにおける膝前十字靭帯損傷の受傷機序について. 整スポ会誌 16 : 45-52, 1996.
 - 12) 徳重克彦ら：スポーツによる膝前十字靭帯損傷の受傷メカニズムに対する検討. 整スポ会誌 7 : 1-5, 1988.
 - 13) Narita, T. et al. : The effect of accelerated rehabilitation on athletes after anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis tendon augmented by woven polyester. J. Jpn. Knee Society 2000 (in printing).
 - 14) 武田知通ら：サッカー選手における床反力計を用いたターン動作の解析. 日本臨床バイオメカニクス会誌 19 : 521-525, 1998.



**登山の医学
ハンドブック**

松林公蔵 監
日本登山医学研究会 編

登山に関する医学書として
この本は、医師・登山愛好者のための
“安全確保の道しるべ”
になると思います。

登山家・医学博士 今井通子

B6判・256頁・定価(本体2,350円+税)

登山の医学 新刊 ハンドブック

監修 松林 公蔵 (京都大学東南アジアセンター教授)
編集 日本登山医学研究会

高山の自然は多くの人々を魅了し、近年、トレッカーの数は増加している。また同時に遭難をはじめとする山でおこる事故もあとをたたない。本書は、一般登山者ならびにトレッカーはもとより登山を指導する立場にある方々に携行していただきたい一冊である。「登山中に起こり得る症状」や「疾病をもっている人」の登山、「救急処置法」等を、登山に習熟した臨床医がわかりやすく解説。

概要目次

1. 登山医学概論
2. 登山中に起こり得る症状
3. 登山中に発病し得る疾患
4. 疾病をもっている人の登山における注意
5. 登山中に必要な救急処置法
6. 登山に携行したほうがよい医療器材と医薬品
7. 登山における栄養をめぐる諸問題
8. ヒマラヤ高所医学

ホームページからご注文いただけます
<http://www1.sphere.ne.jp/kyorin/>

杏林書院 〒113-0034 東京都文京区湯島4-2-1 TEL.03-3811-4887 FAX.03-3811-9148