前十字靱帯損傷の受傷機序について

福岡整形外科病院

案 浦 聖 凡・王 享 弘
小 林 晶

Injury Mechanism of the Anterior Cruciate Ligament (ACL) of the Knee Joint

by

Kiyochika Annoura, Toshihiro Oh and Akira Kobayashi
Fukuoka Orthopaedic Surgery Hospital

From 1986 to 1995, 256 patients who had an ACL injury were operated on in our hospital. We investigated ACL injury mechanism in these patients. We examined the relationship between the position of the knee joint and the direction of force when the ACL was torn. Valgus stress to the knee and external rotation of the tibia on the femur was thought to be the most common injury mechanism.

Forty-four patients with an acute complete ACL tear were examined by Magnetic Resonance Imaging (MRI). Among them, 64% showed signs of "bone bruise" located at both the lateral femoral terminal sulcus and the postero-lateral part of the tibial plateau. These findings suggest that the common injury mechanism of the ACL involves severe anterior subluxation with impact of the posterior part of the tibia on to the femur. Particularly in a non-contact type of ACL injury, we think that contraction of the quadriceps exerts an anterior drawing force onto the tibial tubercle when the patient lands from a jump. This was thought to be the cause of the anterior tibial dislocation tibia, even if the tibia was rotated externally.

Key words: Anterior Cruciate Ligament (前十字靱帯), Injury Mechanism (受傷機序), Bone Bruise (骨挫傷)

はじめに

近年、膝前十字靱帯（以下 ACL）損傷について認識が高まり、正確な診断がなされるようになってきたが、受傷機序について、特に非接触型の受傷機序は不明な点も多い。受傷機序の理解は ACL 損傷の診断と予防をするうえで大切と考える。今回我々は、ACL 損傷の受傷状況、受傷肢位、MRI における Bone Bruise の位置より、受傷機序の考察を行ったので報告する。

対象および方法

対象は 1986 年から 1995 年 1 月まで当院で治療した

ACL 損傷 256 例である。男 139 例、女 117 例、左 146 例、右 110 例、新鮮例（受傷から 1 ヶ月以内の手術）117 例、陳旧例 139 例で、平均 25.6 歳（13~64 歳）であった。

検討項目について（Ⅰ）受傷原因、特にスポーツにおける受傷状況を検討した。（Ⅱ）受傷肢位について Noyes による（a）膝軽度屈曲外反、下腿外旋（以下外反、外旋）（b）膝軽度屈曲内反、下腿内旋（以下内反、内旋）（c）過伸展の分類¹⁾、徳重らの分類²⁾（d）膝軽度屈曲外反、下腿内旋（以下外反、内旋）を加え検討した¹⁾。（Ⅲ）合併損傷と受傷肢位の関係を新鮮例 83 例において検討した。（Ⅳ）急性期 MRI 44 例、ならびに非接触型 27 例における Bone Bruise

の位置, MCL 損傷の程度と受傷肢位について検討した。

結 果

(Ⅰ) 受傷原因別では, スポーツが 207 例と多く, 次いで交通事故 31 例, その他 18 例でこの中では転落等が多かった。このうち非接触型は 149 例であり, 大多数はスポーツであった。

スポーツの種目別では, バスケット 48 例, バレーボール 40 例と多く, 特に女性の受傷が多い傾向がみられた。

非接触型は, バスケット, バレーボール, スキー, ハンドボールに多く見られ, このなかで, バスケット 19 例, バレーボール 28 例とジャンプ着地での受傷が多かった。スキーでは膝外反位を強制される例が 11 例と多かった (表 1)。また非接触型は女性に 93 例と有意に多かった。

(Ⅱ) 受傷肢位は, (a) 外反, 外旋が 103 例と多く次いで (b) 内反, 内旋が 21 例 (c) 過伸展が 12 例 (d) 外反, 内旋が 12 例であった。

大腿四頭筋が関与するジャンプ着地時では外反, 外旋が 18 例と多かった。

(Ⅲ) 受傷肢位の確認できた新鮮例 83 例の損傷靱帯と受傷肢位の関係をみると (表 2) (a) 外反, 外旋では, 接触例が 32 例と複合靱帯損傷が多く, 非接触例は 16 例と ACL のみの受傷が多くなる傾向がみられた。これは接触による外力の強さを反映していると思われる。(b) 内反, 内旋は ACL をより緊張させ Segond 骨折や capsular ligament 損傷の合併する

肢位といわれるが, 非接触例で ACL のみの損傷が 8 例と多かった。(c) 過伸展は, 顆間部での圧迫で ACL 損傷するといわれるが接触, 非接触での差はなかった。(d) 外反, 内旋は, ジャンプ時や着地に多いと徳重らは述べていたが我々の症例では 6 例と少なく, うちスキー外傷は 3 例であった¹¹⁾。

(Ⅳ) MCL 損傷の程度を, 0～Ⅲ度に分類すると, ACL 損傷は MCL Ⅲ度損傷に 14 例と多く, うち 11 例が外反, 外旋位であった。しかし MCL 損傷なしやⅠ度という外反力の少ない例でも 27 例に ACL 損傷がみられ, うち 13 例が外反, 外旋であったのは興味深い (表 3)。

最近問題になっている MRI での Bone Bruise が, 大腿骨外側顆と脛骨後外側部に, 両方みられる例が 28 例 (64%) と多かった。

このタイプでは MCL Ⅲ度損傷で 11 例, MCL 損傷なしで 8 例, Ⅰ度で 7 例と外反力の程度に関係なく ACL 損傷がみられた (表 4)。このことは, 外反力に

表 2 新鮮例の受傷肢位と損傷靱帯

n=83	損傷靱帯	contact	non-contact
膝軽度屈曲外反	ACL のみ	4	16
下腿外旋	+MCL	22	6
60 例	+MCL+PCL	10	2
膝軽度屈曲内反	ACL のみ	2	8
下腿内旋	+LCL		1
12 例	+Segond F.		1
過 伸 展	ACL のみ	1	2
5 例	+Segond F.	1	1
膝軽度屈曲外反	ACL のみ		4
下腿内旋	+MCL		2
6 例			

表 1 種目別受傷状況

種 目	症 例 数	男/ 女	接 触 : 非 接 触 型	受傷状況					
				Jump			外 反	内 反	
				着地	up	sud- den stop			
バスケット	48	19/29	8 : 40	19	3	4	5	4	
バレー	40	7/33	1 : 39	28	6	1	1	3	
サッカー	19	17/ 2	11 : 8	3			1	2	
スキー	16	6/10	0 : 16				11	3	
ラグビー	16	16/ 0	15 : 1			1	4	1	
ハンドボール	11	5/ 6	0 : 11	6			3	1	
その他	43	21/22	12 : 30	9	1	3	12	4	
total	207	104/103	58 : 149	68	10	9	43	22	

表 3 急性期 MRI 44 例の MCL 損傷の程度と損傷時の肢位について

MCL 損傷	損 傷 時 の 肢 位				
	軽 度 屈 曲			過伸展	不 明
	下腿外旋 膝外反	下腿内旋 膝外反	下腿内旋 膝内反		
0	9	1	7	2	1
Ⅰ度	4		1	2	
Ⅱ度	2	1			
Ⅲ度	11	1			2

表4 44例の急性期MRIのBone bruiseとMCL損傷

Bone bruise		MCL 損傷				合 計
大腿骨 外側顆	脛 骨 外側顆	0	I	II	III	
+	+	8	7	2	11	28
+	-				1	1
-	+	9			3	12
-	-	3				3

表5 non-contact 受傷症例27例の急性期MRIのBone bruiseと損傷時の肢位について

Bone bruise		損 傷 時 の 肢 位				合 計
大腿骨 外側顆	脛 骨 外側顆	軽 度 屈 曲			過 伸 展	不 明
		下腿外旋 膝 外 反	下腿内旋 膝 外 反	下腿内旋 膝 内 反		
+	+	9 ⑤	3 ③	2 ①	2①	1①
+	-					
-	+	4 ①	2	2		
-	-			1		1

○数字はジャンプ着地受傷症例数

は関係なく大腿骨と脛骨が一定の肢位の接触をしたことをしめすと考えられた。また、この中で非接触例27例でもBone Bruiseが大腿骨と脛骨両方見られるタイプが17例と多く、うち11例が外反、外旋位であった(表5)。

このことはBone Bruiseの位置が大腿骨と脛骨の衝突によりおこったとするならば、膝外反に、脛骨が前方にいくか、大腿骨外側顆が後方にいくか、または同時に両者がおこったことを示すが、なぜ外反、外旋位に多く見られたのか、受傷機序からすると理解しにくいと思われた。

考 察

最近、ACL損傷についての認識も高まり、整形外科医の正確な診断がなされるようになってきた。しかしスポーツ選手や指導者の認識は、まだ不十分かもしれない。また専門医以外による不確実な診断で放置される例もまだ多い。事実、当院の症例でも139例が陳旧例と診断されて来院してきている。そこでより正確な診断の助けとして、ACL損傷の受傷状況、受傷機

転について再度検討したので報告した。

(I) 受傷原因

圧倒的にスポーツでの受傷が多く、特に非接触例が多かった。諸家の報告では、徳重¹¹⁾は男性でサッカー、バスケット、女性ではバスケットに多いと述べ、星川³⁾、男性やスキー、女性はバスケットが多く、非接触例が76%を占め、女性では90%を占めると述べていた。

我々の症例では、男性でバスケット、サッカー、ラグビー、女性でバレーボール、バスケット、スキーの順に多く、女性のバレーでの受傷が諸家の報告に比較して多かった。非接触例はスポーツ受傷の72% (149/207)を占め、女性では90% (93/103)と男性の53% (56/104)に対して有意な差があった。

森田⁷⁾の脛骨内側顆後方傾斜角は、女性非接触例は 12.8 ± 2.9 度で正常値と有意な差はなかった。また非接触例149例では、ジャンプ着地が68例、ジャンプ時11例、急激な停止9例と大腿四頭筋の関与が考えられる例が88例(59%)も占めることは、スポーツ選手や指導者は十分に認識しておく必要があると思われる。

(II) 受傷肢位について

1980年Noyesらは¹⁾、85例のACL損傷例での受傷肢位を調べた。荷重時、(a)膝軽度屈曲外反、下腿外旋位、25例(b)膝軽度屈曲内反、下腿内旋位、5例(c)過伸展7例で、外反、外旋が多かったが、受傷状況がわからない例も48例と多かったと述べている。本邦では、1989年戸松も¹²⁾、外反、外旋での受傷が多いと述べている。1988年徳重¹¹⁾、守屋らは、膝外反、大腿外旋または下腿内旋が48/98(49%)と多く、特にジャンプ着地やストップで起こると述べている。外反、外旋は11例と少なく、回旋要因のない大腿四頭筋筋力のみによる受傷は3例、脛骨後方より押される例は27例と、接触例、非接触例もいっしょに議論している。回旋要因のある症例に大腿四頭筋が働いてなかったとは言えないので受傷原因が、おもに肢位によるのか、大腿四頭筋によるのか、また両者が関与するのか問題である。確かに、下腿内旋はACLを緊張させる方向で、前方へのジャンプの着地では、よく使用される肢位と思われる。Bousquet²⁾によると頻回に使われるのは、外反、外旋でのストップ、推進と、内反、内旋での制動、方向転換であると述べてい

る。我々の症例では外反、外旋が103例と多く、接触例59例、非接触例44例であった。非接触例では下腿内旋は31例みられ、内反、内旋は19例、外反、内旋は12例であった。内堀らは¹³⁾、スキー外傷で41例中12例が、外反、内旋位での受傷であったと述べている。

非接触例149例中、外反外旋44例(29.5%)下腿内旋31例(20.8%)不明で特別な肢位をとった覚えのない例が67例と多かった。

ここで問題なのは、受傷肢位を考えるうえで、その肢位がそのままACLの緊張を生み、断裂される方向か、その肢位がACLに緊張を与えなくても、四頭筋などの負荷の力が加わってACLが緊張し断裂することもあることを混同しないようにする必要がある。contact injuryでは、生理的動き以外の状態でACLが緊張をおこし断裂することもあるが、スポーツにnoncontact injuryが多いことは、膝の動きの中での安定を得ることのできる通常の肢位でのACLの緊張以上の力が加わってACLに断裂を起こさせたとも言える。Bousquetらは³⁾、膝は通常片脚立位では(a)軽度屈曲外反下腿外旋位(b)軽度屈曲内反、下腿内旋位(c)伸展位で安定した状態にあると述べている。

ACL受傷において伸展位が、着地の失敗や直達外力で過伸展となると、ACLは靱間部で断裂をおこす。joint laxtyの強い反張膝になりやすい女性では注意する必要がある。

軽度屈曲内反、下腿内旋位は、急激な制動効果があり、方向転換でみられるが、その肢位方向がそのままACLの緊張となり断裂する。急激な制動には大腿四頭筋の急激な収縮が関与しACLの緊張はより強くなる。Segond骨折の代表的な肢位と言われるが、我々の症例では8例中3例がこの肢位で、2例が過伸展、3例は不明であった。

軽度屈曲外反、下腿外旋位は、非常に多くみられた肢位であった。しかしこの肢位、特に下腿外旋は、ACLのねじれをゆるめる方向なのに、ACLに緊張をきたし断裂するのは、なぜか疑問である。外反力優位では、一般的にはMCL断裂後、ACL損傷がおこると考えられ、PCLまで損傷するのは外反力がより強かったことを示すと言われていた。下腿外旋でのACLの緩みを緊張させ安定させるためには、大腿四頭筋による脛骨の前方への移動が必要であり、この力

が強いとACLは断裂する可能性がでてくる。

この脛骨の前方亜脱臼を示す臨床的証拠は、MRIにおけるBone bruiseの位置にある。

(Ⅲ)急性期MRI所見の検討

軟骨下骨組織病変について1989年Minkは、MRIで骨髄組織の異常を認め、その病態は、浮腫、出血を伴う骨梁の破壊と報告した。このBone bruiseは、新鮮ACL損傷で高頻度に見られ、その部位について、大腿骨外側顆と脛骨後外側部に見られるが、両方みられる頻度は、縄田⁸⁾73.6%(14/19)、Speer⁴⁾65%(35/54)、Spindler⁵⁾44%(24/54)であった。当院では64%(28/44)であった。このバラツキは受傷状況、肢位が必ずしも同じではないためと思われる。しかし多くの発表では、このパターンが多くみられ、これは靱帯損傷時、前方亜脱臼した脛骨後外側部と大腿骨外側顆のterminal sulcusまたはそのやや後方部分が衝突し、軟骨下骨組織の損傷を起こしたことを示すと述べている^{4,9)}。この脛骨の動きと受傷肢位の関係を述べた報告は少ない。

Speerは⁴⁾、このBone bruiseパターンは、膝外反で起こり、過伸展ではterminal sulcusと脛骨前面にみられると述べている。我々の症例では、このBone bruiseパターンは、膝外反、下腿外旋位に多くみられ、特にジャンプ着地で多かった。またこのパターンはMCL損傷の程度に関係なくみられた。このことは、今まで言われた0' Donoghueの言うunhappy triadでの外反優位の受傷で、MCL損傷後にACLが損傷するという可能性に加えて、受傷時に、脛骨が前方亜脱臼を起こしていて、この時ACLは緊張しており、この緊張が強くてMCL損傷の前に断裂したのか、又はこの緊張に、外反力が加わりMCL損傷と共に断裂したという、2つの可能性も示すことになる。中村⁸⁾は、ACL損傷に著明な外反動揺性を示す例で外側支持機構の同時損傷を伴う例があり、これは、外反ストレスを契機とし、防御反応として大腿四頭筋の収縮が起こり脛骨の前方亜脱臼が起き、まずACLが、次いで内外側支持機構の断裂が起きるので、と述べている。また外旋優位でも脛骨が前方亜脱臼を起こし、ACLは緊張し、断裂する可能性を示している。

この仮説として²⁾、まず膝軽度屈曲では大腿四頭筋力=FQは、矢状面でFE=脛骨を前方に引き出す

図1 外旋, 外反位での分力について

下腿外旋により, 分力FRとRITは, より大きくなり, 軽度屈曲位での分力FRとFEと共に脛骨を相対的に前方亜脱臼させ, ACLを緊張させる。

力とFP=膝蓋骨圧迫力となる。また前額面でQangleのためFQは, FR=膝蓋骨を外方向に偏位させる力とRIT=脛骨内旋力になる。

軽度屈曲では分力FRとFPは大腿骨外側顆を後方に外旋させ, 分力FEとRITで脛骨を前方かつ内旋させる。分力FRとRITは下腿外旋の方がより強くなり, 瞬間的にFQが強まると, 相対的に脛骨が前方亜脱臼し, 膝の安定化以上にACLに緊張がかかり断裂が起こったのではと考える。また瞬間的にFQが強まるのは, ハムストリングとのバランスも関与しているかもしれない^{6,10)} (図1)。

ま と め

①ACL損傷はスポーツ外傷の, non-contact injuryが多く, ジャンプ着地が多かった。

②受傷肢位は, 膝軽度屈曲外反, 下腿外旋が多かった。

③膝外反, 下腿外旋位受傷は, 大腿四頭筋による過度の脛骨前方亜脱臼で起こり, このことは, MRIによるBone bruiseの位置より推察される。

④MCL合併時のACL損傷は, 主に外反力による

といわれるが, non-contact例では脛骨の前方亜脱臼も生じていた可能性がある。

参 考 文 献

- 1) Frank R. Noyes: Arthroscopy in Acute Traumatic Hemarthrosis of the Knee. J. Bone & Joint Surg., 62-A, No. 5 : 687-695, 1980.
- 2) Gilles Bousquet: 図説・膝の機能解剖と靱帯損傷: 共同医書出版社, 1991.
- 3) 星川吉光: 新鮮前十字靱帯損傷の診断と治療. M.B. Orthop., 10 : 19-26, 1989.
- 4) Kevin P. Speer: Osseous injury associated with acute tears of the anterior cruciate ligament. Am. J. Sports Med., vol.20, No.4 : 382-389, 1992.
- 5) Kurt P. Spindler: Prospective study of osseous, anterior, and meniscal lesions in recent anterior cruciate ligament tears by magnetic resonance imaging and arthroscopy. Am. J. Sport Med., vol.21, No.4 : 551-557, 1993.
- 6) Moore, J. R. and Wade, G: Preventatoin of anterior cruciate ligament: National Strength and Conditioning Association (NSCA) Journal, 11(3) : 35-40, 1989.
- 7) 森田秀穂他: 膝関節の矢状面の力学解析について. 膝, 11 : 68-75, 1985.
- 8) 中村博行他: 著明な外反動揺性を示した新鮮膝関節靱帯損傷の検討. 臨整外, 24(8) : 915-918, 1989.
- 9) 縄田耕二他: 膝前十字靱帯損傷に合併する軟骨下骨組織の病変とその意義. 日関外誌, XII(2) : 195-202, 1993.
- 10) 高杉紳一郎他: 高校バスケットボール一流選手の膝屈伸筋力特性と競技能力. 整形外科と災害外科, 44(2) : 616-620, 1994.
- 11) 徳重克彦, 守屋秀繁他: スポーツによる膝前十字靱帯損傷の受傷メカニズムに対する検討. 日本整形外科スポーツ医学会誌, 7 : 1-5, 1988.
- 12) 戸松泰介他: 膝関節靱帯損傷の受傷機転とその診断. 整形外科Mook, No.58 : 135-145, 1989.
- 13) 内堀俊子他: スキー外傷における膝前十字靱帯損傷の易損傷性素因と環境因子の検討. 日本整形外科スポーツ医学会誌, Vol.10 : 413-417, 1991.