

# 膝前十字靭帯損傷のハイリスク因子について

宗 彩加・中村愛子

## 要旨

【目的】前十字靭帯（ACL）損傷のハイリスク因子の特徴を骨解剖学的視点から調査した。  
【対象と方法】ACL 損傷患者 171 例 176 膝，健常者 22 例 22 膝を対象とし，X 線画像での計測を行い，2 群間で比較した。【結果】ACL 群において，顆間距離，顆間割合，%MA，mMPTA，MH/W，LH/W が有意に高く，FTA が有意に低い結果であった。一方，顆部横径，aPPTA，mLDFA において有意な差は認められなかった。【結論】ACL 損傷の骨解剖学的リスク因子として，顆間距離・顆間割合が大きいこと，下肢の静的アライメントが外反であること，顆間結節が大きいことが挙げられる。

## はじめに

前十字靭帯 (Anterior cruciate ligament: ACL) は，脛骨の中央前内側から大腿骨外顆内側面に付着しており，脛骨の前方動揺性や前内側への回旋不安定性を制動する重要な靭帯である<sup>1)</sup>。年間 10000 人あたり約 4 例の割合で発生する ACL 損傷 (断裂) の受傷機転としてはスポーツや交通事故が多く，スポーツ外傷膝の約 25% を占める<sup>2,3)</sup>。受傷形態としてバスケットボールやサッカーなどでのジャンプ着地時やストップ，カット，ターンなどのピボット動作による「非接触型」が多く，近年女性のスポーツ参加者の拡大に伴って ACL 再建術の件数は増加傾向を示している。損傷した ACL を放置すると脛骨前方亜脱臼や膝ぐずれ (giving way) などを繰り返しながら半月板や関節軟骨の損傷・破壊といった二次的損傷を引き起こす危険性が高く，多くは手術による靭帯再建が必要となる。しかし，術後再建靭帯の生着 (成熟) とリハビリテーションのために長期間の競技離脱を余儀なくされることから，患者にとっては大きな不利益を被ることになり，30~40% 前後は元の競技レベルに復帰できないと言われ

ている<sup>3)</sup>。従って，ACL 損傷は未然に防ぐこと，特に再建術後のアスレチックリハビリテーションの現場では再発の予防を最優先課題とし，ハイリスクアスリートの選別と有効な予防的トレーニング法を指導することが重要である。

ACL 損傷の身体的危険因子として，これまで膝関節過伸展を含む全身関節弛緩性<sup>4,5)</sup>や月経周期<sup>6)</sup>といった生理的特徴と並んで解剖学的特徴との関連性も指摘されてきた。Shambaugh ら<sup>7)</sup>は 45 名のバスケットボール選手を調査し，10° 以上の Q-angle はリスク因子になり得るとしたが，Kramer ら<sup>8)</sup>は多変量解析の結果，両者の相関は低いと報告している。また，ACL 損傷には大腿骨顆間窩幅 (notch width: NW) や NW を顆部横径で除した顆間窩指数 (notch width index: NWI) が影響するという報告<sup>9-12)</sup>が多く存在する一方で，NWI との関係性は低いという研究も散見される<sup>13-15)</sup>。Brandon ら<sup>16)</sup>は ACL 損傷患者の脛骨後方傾斜が急峻であったとしているが，非 ACL 損傷者と有意差がなかったという報告<sup>17)</sup>もあり，解剖学的危険因子について統一した見解には至っていない。更に，下肢アライメントの指標としては体表からの Q-angle で検討されている研究がほとん

どであり、着衣や体型による影響も否定できない。

本研究の目的は、ACL 損傷患者を後ろ向きに調査し、ACL 損傷に至る特徴をまとめ、下肢 X 線画像から骨解剖学的危険因子を特定することである。なお、本研究は長崎大学病院臨床研究倫理委員会の承認を得て行った(承認番号: 16122606)。

## 対象

対象は、2013 年 1 月～2015 年 12 月に長崎大学病院整形外科で ACL 再建術を受けた ACL 損傷患者 171 例 176 膝 (ACL 群) (男性 77 例 82 膝, 女性 94 例 94 膝, 平均 23.8 歳) および健常者 22 例 22 膝 (健常群) (男性 10 例 10 膝, 女性 12 例 12 膝, 平均 25.7 歳) である(表 1)。

## 方法

### I. 患者情報

診療録より ACL 群の a) 性差, b) 患側, c) 受傷機転・形態, d) 移植腱, e) 手術までの期間, f) 手術時間, g) KT-2000 に関するカルテより情報を収集した。a) 性差は男性と女性, b) 患側は右側と左側の割合を比較した。c) 受傷原因をカテゴリー化し, 受傷時の動作から接触型と非接触型に分類した。d) 移植腱は, ハムストリング (Semitendinosus and gracilis tendons: STG) と骨付き膝蓋腱 (Bone-patellar tendon-bone: BTB) の割合を比較した。e) 手術までの期間は, 受傷日から手術施行までの期間 (日数), f) 手術時間は, STG 法と BTB 法に分けて手術に要した平均時間を調査した。g) KT-2000 は, 膝関節の前後方向に対する動揺距離の定量的評価法として用いられている器具であり<sup>18)</sup>, 患健差が 4 mm 以上で

ACL 不全膝と診断される。

表 1 対象者基本情報

		健常群	ACL 群
身長 (cm)	男性	172.8	172.2
	女性	157.9	160.0
体重 (kg)	男性	64.7	72.9
	女性	48.5	57.3
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	男性	21.7	24.5
	女性	19.4	22.4

### II. 画像所見

術前の単純 X 線像を用いて以下の 10 項目の骨解剖学的計測を行い, ACL 群と健常群で統計学的に比較した。

膝 Rosenberg view における h) 大腿骨顆部の最大横径 (顆部横径), i) 顆部横径上で大腿骨外側顆と内側顆の距離 (顆間距離), を測定し, j) 顆部横径に対する顆間距離の割合 (顆間割合) を算出した。また, 両下肢立位正面像から下肢アライメント評価として k) Femorotibial angle (FTA), l) 荷重線 (Mikulicz line) が脛骨近位関節面の通過する部位を示す % Mechanical axis (%MA) を求めた。荷重線 (Mikulicz line) とは, 大腿骨骨頭中心と足関節中央を結ぶ線である。同じく, 両下肢立位正面像から m) 大腿骨骨頭中心から大腿骨顆部中心に結んだ線と大腿骨遠位関節面のなす角: mechanical Lateral distal femoral angle (mLDFA), n) 脛骨骨軸と脛骨近位関節面のなす角: mechanical Medial proximal tibial angle (mMPTA) を測定した。mLDFA は大腿骨, mMPTA は脛骨の解剖学的特徴を表す。更に, o) 膝関節側面像から脛骨内側関節面と脛骨骨軸がなす角: anatomical Posterior proximal tibial angle (aPPTA) を, 膝 Rosenberg view から p) 内側顆間隆起の高さと脛骨関節面の横径の比

(MH/W), q) 外側顆間隆起の高さと脛骨関節面の横径の比(LH/W)を求めた. 両者は顆間隆起の形状を表す. 統計学的検討には Mann-Whitney の U 検定による 2 群間比較を用い, 有意水準は 5%未満とした.

## 結果

対象者の身長, 体重, BMI に関して 2 群間に有意な差は認められなかった.

### I. 患者情報

#### a) 性差

男性が 82 膝(47%), 女性が 94 膝(53%)と女性が多く, 男性の 1.17 倍であった.

#### b) 患側

右側が 86 膝(49%), 左側が 96 膝(51%)であり, 左右差はみられなかった.

#### c) 受傷機転・形態

受傷機転では, スポーツ 157 膝(89%), 転落 7 膝(4%), 歩行中 4 膝(2%), 事故 3 膝(2%), 不明 5 膝(3%)であり, スポーツでの損傷が大半を占めた. また, 競技別にみると, バasketボール, サッカー, バレーボールの順に多かった.

受傷形態については, 着地や踏み込みなどの非接触型損傷が 132 膝(76%), 接触型損傷が 31 膝(18%), 不明 14 膝(7%)であった. なお, 不明の 14 膝では受傷形態に関する詳細な情報が得られなかった.

#### d) 移植腱

移植腱としては, STG が 166 膝(94%), BTB が 10 膝(6%)であった.

#### e) 手術までの期間

受傷から手術までの期間は, 平均 229.5±148.7 日であった.

#### f) 手術時間

手術時間は, 平均 157.4±40.1 分であった. 手

術別にみると, STG が平均 152.2±33.0 分, BTB は平均 234.4±61.0 分で, BTB で長時間を要していた.

#### g) KT-2000

KT-2000 は, 健側で平均 8.2±2.4mm, 患側平均 13.4±3.1mm であり, 患健差は平均 5.2±2.4mm となり, 患側は ACL 機能不全と判断される.

### II. 画像所見

画像所見の結果を表 2 に示す. ACL 群において, i) 顆間距離, j) 顆間割合, l) %MA, n) mMPTA, p) MH/W, q) LH/W で有意に高く, k) FTA は有意に低い値を示した. 一方, h) 顆部横径, o) aPPTA, m) mL DFA においては 2 群間に有意差は認められなかった.

表 2 画像所見結果

	健常群	ACL 群
顆部横径(mm)	74.3±6.2	75.1±6.8
顆間距離(mm)	17.0±3.7	18.2±3.3*
顆間割合(%)	20.4±3.3	24.3±3.6**
aPPTA (°)	80.1±2.9	80.4±3.6
FTA (°)	177.2±2.7	173.1±3.5**
%MA (%)	28.8±11.9	43.7±15.2**
mL DFA (°)	83.9±2.5	86.4±1.8
mMPTA (°)	83.9±3.0	87.0±1.8**
MH/W (%)	10.7±2.2	12.6±2.1**
LH/W (%)	7.0±3.5	10.9±2.2**

マンホイットニーの U 検定  
(\* : p<0.05, \*\* : p<0.01)

## 考察

### I. 患者情報

#### a) 性差

性差に関して、女性は男性の 1.17 倍であった。高橋ら<sup>19)</sup>の調査では、女性は男性の 2.9 倍であったとされており、本研究では男性の割合が比較的多かった。

#### b) 患側

患側に関して、左右差は認めなかった。井原ら<sup>20)</sup>は、非利き足である左膝の受傷が多いと報告しているが、今回は診療録に利き足についての情報がなかったため、直接的な比較は不可能であった。

#### c) 受傷機転・形態

受傷機転に関して、スポーツが約 9 割を占めていた。井原ら<sup>20)</sup>は、ACL 損傷の受傷原因はスポーツが約 9 割を占めると述べており、これを支持する結果となった。また、このスポーツについて競技別に分類したところ、バスケットボール、サッカー、バレーボールの順に多かった。先行研究では、バスケットボール、バレーボール、器械体操、柔道などが多いとされる<sup>3, 20, 21)</sup>。本研究においてサッカーの割合が多かったのは、対象者に男性が多かったためであると考えた。受傷形態に関して、非接触型が 75%を占めていた。案浦ら<sup>22)</sup>も非接触型が 76%であったと報告しており、本研究でも同様の結果となった。

#### d) 移植腱

移植腱に関して、STG が 94%と大半を占めていた。長崎大学病院整形外科では、筋力低下や疼痛といった合併症のリスク等から、初回損傷の場合は STG を第一選択とする方針がとられている。

#### e) 手術までの期間

手術までの期間に関して、平均  $229.5 \pm 148.7$

日と手術までの期間が長く、症例ごとにばらつきがあった。これは、靭帯再建術は待機手術であるため、長期休暇などに日程を調整できることが原因と考えた。

#### f) 手術時間

手術時間に関して、STG が平均  $152.2 \pm 33.0$  分、BTB が平均  $234.4 \pm 61.0$  分で、BTB が比較的長時間に及んでいた。これは、BTB が再々建術で用いられているためであると思われる。

#### g) KT-2000

KT-2000 に関して、健側が  $8.2 \pm 2.4\text{mm}$  患側で  $13.4 \pm 3.1\text{mm}$ 、健側と比較し患側の動揺が強かった。これは脛骨の前方動揺を抑える役割を持つ ACL が損傷によって機能不全状態であることを示唆している。

### II. 画像所見

#### h) 顆部横径, i) 顆間距離, j) 顆間割合

顆部横径では有意差はなく、顆間距離、顆間割合では ACL 群が有意に大きい結果となった。佐伯ら<sup>23)</sup>は、顆間割合が低下すると ACL にせん断力が加わりやすく、靭帯損傷リスクにつながるとしているが、対象年齢を 21 歳から 30 歳に限定すれば有意な差はないとしている。本研究の健常群が 22 歳から 31 歳であることを考慮すると、対象年齢の違いが結果に影響した可能性は否定できない。但し、本研究の結果ではむしろ ACL 群で顆間距離と顆間割合が拡大していたことから、広い顆間により骨性の安定化機構が働きにくくなり、十字靭帯にストレスが集中して断裂しやすい状況になると推察した。

#### k) FTA, l) %MA

FTA は ACL 群で有意に低く、%MA は ACL 群で有意に高値を示した。これはともに、ACL 群の下肢アライメントが外反位にあることを意味している。小林ら<sup>24)</sup>は、膝の外反強制により ACL に伸

張と摩擦のストレスが加わり、断裂に至ると述べている。つまり、解剖学的に既に外反位にあるということは、ACL にストレスが加わりやすい状態であり、健常者と比べて ACL 損傷を起こしやすい環境であると言える。

#### m) mL DFA, n) mMPTA

mL DFA は有意差なく、mMPTA は ACL 群で有意に高かった。FTA、%MA の結果より、ACL 群の膝は外反位にあることが示されたが、その原因は脛骨の近位関節面の形状が外反していることに起因すると考えられる。

#### o) aPPTA

今回、aPPTA に有意差はみられなかった。

Hohmann ら<sup>25)</sup>は、脛骨後方傾斜が ACL 断裂に関連すると報告しているが、ACL 損傷患者の再建術前後で検討されており、本研究とは対象が異なる。

#### p) MH/W, q) LH/W

過去に ACL 損傷と顆間隆起の形状に関する報告は認められない。今回、MH/W、LH/W は、ともに ACL 群が有意に大きいという結果であった。本研究の結果より、ACL 群は下肢のアライメントが外反位であり、かつ顆間距離が拡大して骨性安定化が不十分であることから、不安定性を制動する十字靭帯に慢性的なストレスが加わっていると考えられる。従って、ACL の付着部である顆間隆起が牽引され、徐々に骨棘状に延長したとも考えられる。

以上より、患者情報から導いた対象者の特徴として、受傷機転はスポーツ、中でもバスケットボール、サッカー、バレーボールの危険性が高いこと、受傷形態は非接触型が多いことなどが挙げられた。画像所見から導いた ACL 損傷のハイリスク因子として、顆間距離・顆間割合が大きいこと、静的アライメントが外反位であること、脛骨の近位関節面の傾きが外反傾向であること、顆間隆

起が大きいことが導き出された。こうした結果を踏まえ、ハイリスク因子保有者に対しては ACL 断裂の情報提供と注意喚起、予防のための動作指導、下肢アライメント矯正のメニューの追加、スポーツ種目やポジション変更などの助言を行うことで、ACL 損傷や再断裂の予防につなげることができると考えた。ACL 損傷は治療に長期間を要するため、初回 ACL 損傷を未然に防ぐこと、ACL 再建術後の患者にはリハビリテーション等を通して再断裂を回避させることが私達理学療法士にとって重要であると考えた。

ACL 損傷の予防策として、膝屈曲位、下腿前傾、ターンは母趾球支持、移動方向へ爪先を一致させることで knee-in toe-out を防止することが提唱されている<sup>26)</sup>。また、膝外反アライメントに対しては、股関節内転筋群の筋力強化によって外反ストレスに対抗することも有用であろう。さらに、再建術で STG を採取することにより膝関節の前方剪断力に対抗できず、転倒リスクの増加に繋がりがかねないため<sup>27)</sup>、術後のハムストリングスの筋力強化は不可欠である。

## まとめ

ACL 損傷患者の 176 膝を対象に ACL 損傷のハイリスク因子の特徴を、骨解剖学的視点を加え調査した。ハイリスク因子として、顆間距離・顆間割合が大きいこと、下肢アライメントが外反傾向であること、外反の原因が脛骨の形状に起因すること、顆間隆起が大きいことが挙げられた。ハイリスク因子の特徴を捉えることで、再断裂予防リハビリテーションのプログラム作成に活かすことが可能であると考えた。

## 謝辞

本研究の指導を賜りました小関弘展教授, なら

びに情報収集にご協力いただいたボランティア,  
長崎大学病院の職員の方々に心より謝意を表し  
ます。

## 参考文献

- 1) 加藤 有: 前十字靭帯損傷の臨床. 日大医学雑誌. 2013; 72: 81-85.
- 2) O'Donoghue DH: Surgical treatment of fresh injuries to the major ligaments of the knee. *J Bone Joint Surg Am.* 1950; 32: 721-738.
- 3) 日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会: 前十字靭帯損傷診療ガイドライン(改訂第2版). 2012.
- 4) Myer GD, Ford KR, et al.: The effects of generalized joint laxity on risk of anterior cruciate ligament injury in young female athletes. *Am J Sports Med.* 2008; 36: 1073-1080.
- 5) Ramesh R, Von Arx O, et al.: The risk of anterior cruciate ligament rupture with generalised joint laxity. *J Bone Joint Surg Br.* 2005; 87: 800-803.
- 6) Beynon BD, Johnson RJ, et al.: The relationship between menstrual cycle phase and anterior cruciate ligament injury: a case-control study of recreational alpine skiers. *Am J Sports Med.* 2006; 34: 757-764.
- 7) Shambaugh JP, Klein A, et al.: Structural measures as predictors of injury basketball players. *Med Sci Sports Exerc.* 1991; 23: 522-527.
- 8) Kramer LC, Denegar CR, et al.: Factors associated with anterior cruciate ligament injury: history in female athletes. *J Sports Med Phys Fitness.* 2007; 47: 446-454.
- 9) Hoteya K, Kato Y, et al.: Association between intercondylar notch narrowing and bilateral anterior cruciate ligament injuries in athletes. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2011; 131: 371-376.
- 10) Ireland ML, Ballantyne BT, et al.: A radiographic analysis of the relationship between the size and shape of the intercondylar notch and anterior cruciate ligament injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2001; 9: 200-205.
- 11) LaPrade RF, Burnett QM, 2nd.: Femoral intercondylar notch stenosis and correlation to anterior cruciate ligament injuries. A prospective study. *Am J Sports Med.* 1994; 22: 198-202.
- 12) Lund-Hanssen H, Gannon J, et al.: Intercondylar notch width and the risk for anterior cruciate ligament rupture. A case-control study in 46 female handball players. *Acta Orthop Scand.* 1994; 65: 529-532.
- 13) Schickendantz MS, Weiker GG: The predictive value of radiographs in the evaluation of unilateral and bilateral anterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports Med.* 1993; 21: 110-113.
- 14) Herzog RJ, Silliman JF, et al.: Measurements of the intercondylar notch by plain film radiography and magnetic resonance imaging. *Am J Sports Med.* 1994; 22: 204-210.
- 15) Ouyang X, Wang YH, et al.: MRI measurement on intercondylar notch after anterior cruciate ligament rupture and its correlation. *Exp Ther Med.* 2016; 11: 1275-1278.
- 16) Brandon ML, Haynes PT, et al.: The association between posterior-inferior tibial slope and anterior cruciate ligament insufficiency. *Arthroscopy.* 2006; 22: 894-899.
- 17) Meister K, Talley MC, et al.: Caudal slope of the tibia and its relationship to noncontact injuries to the ACL. *Am J Knee Surg.* 1998; 11: 217-219.
- 18) 軍司 晃, 阿部 均, 他: 前十字靭帯損傷患者における膝動揺性計測の信頼性と評価指標.

- 理学療法科学. 1999;14:3-9.
- 19) 高橋 佐, 奥脇 透:我が国の中高校生における膝前十字靭帯損傷の実態. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2015;23:480-485.
  - 20) 井原 秀, 高山 正, 他:非接触性 ACL 損傷における性差・左右差. 整外と災外. 2005;54:241-246.
  - 21) 日本理学療法士協会:理学療法診療ガイドライン第1版”ダイジェスト版”. 2015;33-38.
  - 22) 案浦 聖, 王 享, 他: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. 日整外スポーツ医学会誌. 1996;16:45-52.
  - 23) 佐伯 和, 深堀 雄, 他:前十字靭帯損傷と大腿骨顆間距離の相関性. 整外と災外. 1993;42:1357-1362.
  - 24) 小林 寛:スポーツ外傷に対する理学療法 膝関節における外傷発生の運動学的分析 女子バスケットボールにおける膝前十字靭帯損傷の発生機転を中心に. 理学療法学. 1994;21:537-540.
  - 25) Hohmann E, Bryant A, et al.: Does posterior tibial slope influence knee functionality in the anterior cruciate ligament-deficient and anterior cruciate ligament-reconstructed knee? Arthroscopy. 2010; 26: 1496-1502.
  - 26) 花田 弘, 後藤 三, 他:バスケットボール選手の下肢スポーツ外傷及び障害. 整外と災外. 1999;48:165-168.
  - 27) 浦辺 幸夫:膝関節のバイオメカニクス的重要性, 膝 ACL 損傷予防の視点から. Sports Med. 2017;29:2-6.

(指導教員:小関弘展)