

大腿骨前捻角が膝前十字靭帯 再建術後の対側損傷へ与える影響

Association between femoral anteversion and the risk of contralateral anterior cruciate ligament injury after reconstruction in female athletes

金子雅志*¹, 國田泰弘*², 大見頼一*¹, 栗原智久*¹
関 大輔*¹, 井上拓海*¹, 井上瑞穂*¹, 川島達宏*³
星田隆彦*⁴, 栗山節郎*⁴

キー・ワード : risk factor, anterior cruciate ligament injury, contralateral
危険因子, 前十字靭帯損傷, 対側

【要旨】 (背景) 膝前十字靭帯再建術 (Anterior Cruciate Ligament Reconstruction ; 以下, ACLR) 後の対側損傷の解剖学的危険因子はまだ確証されていない。本研究は ACLR 後の対側損傷の解剖学的危険因子を明らかにすることを目的とした。

(方法) 対象は女性アスリートで, 非接触型損傷後に初回 ACLR を施行した 20 名 40 肢 (片側群) および両側 ACLR を施行した 14 名 28 肢 (両側群) とした。大腿骨前捻角, 顆間窩幅指数, 脛骨後方傾斜角を群間で比較した。有意な変数において, ROC 曲線を用いてカットオフ値を算出し, 対側損傷のオッズ比を求めた。

(結果) 顆間窩幅指数, 脛骨後方傾斜角は, いずれも有意差はなかった。大腿骨前捻角は, 片側群の損傷側と両側群の初回損傷側に有意差はなかったが, 両側群の対側損傷側 $21.5 \pm 6.1^\circ$ は片側群の非損傷側 $15.6 \pm 6.4^\circ$ よりも有意に大きかった。片側群の非損傷側と両側群の対側損傷側を用いた ROC 曲線より, 大腿骨前捻角のカットオフ値は 19.3° と算出された。 19.3° 以上の場合, 対側損傷のオッズ比は 5.5 であった。

(結論) 両側群の対側損傷側の大腿骨前捻角が片側群の非損傷側よりも有意に大きく, 大腿骨前捻角が ACLR 後の対側損傷の解剖学的危険因子である可能性が示唆された。対側損傷リスクの高い選手を抽出するために大腿骨前捻角を測定することは有用であると考えられた。

緒 言

ACL 再建術 (以下, ACLR) 後はスポーツ復帰までに約 6~12 か月と長期間を要すが, 術後 1 年でも元の競技レベルへ復帰できていないという報告もある¹⁾。その中で中学・高校・大学までの競技期間が限られた学生アスリートにとって, ACLR 後の再損傷は深刻な問題である。そのため術後リハビリテーションにおいて, 受傷前のスポーツ復

帰とともに再損傷の予防が重要となる。再損傷の危険因子について調査したシステマティックレビューでは, 初回 ACLR が 25 歳未満であること, スポーツ復帰が危険因子とされる。また, 再損傷率は全体で 15% であるが, この 2 つの危険因子を併せた, 25 歳以下のスポーツ復帰後の再損傷率は 23% と高率である²⁾。この再損傷には再建靭帯を再び損傷する再断裂と再建側と反対側の ACL を損傷する対側損傷がある。15~18 歳のサッカー選手を対象とした調査では, 再断裂率は男性 5.4%, 女性 11.8%, 対側損傷は男性 4.4%, 女性 10.2% で, いずれも女性に多いと報告されている³⁾。我々の研究でも, 初回 ACLR 後に競技スポーツに復帰した学生において, 再断裂率に性差はないが, 対

*1 日本鋼管病院リハビリテーション技術科

*2 川本整形外科リハビリテーション科

*3 いちはら病院リハビリテーション科

*4 東京明日佳病院スポーツ整形外科

側損傷は男性 1.9%，女性 14.0% で女性に有意に多かった⁴⁾。これらのことから、競技復帰する若年女性アスリートは、対側損傷の予防において重要な対象であるといえる。

初回 ACL 損傷の危険因子は、神経筋因子や生体力学的因子などの修正可能因子と、性差や解剖学的因子、家族歴などの修正不可能因子がある。その中で解剖学的危険因子において、顆間窩幅が狭いこと、脛骨後方傾斜角 (posterior tibial slope；以下、PTS) が大きいことは十分なエビデンスが得られている⁵⁾。また、近年では着地・カッティング動作による ACL 損傷時の股関節は屈曲・内旋位であるとされ⁶⁾、ACL 損傷に股関節バイオメカニクスが関連していると考えられる。大腿骨の捻れである大腿骨前捻角は股関節バイオメカニクスに影響を及ぼし、大きな大腿骨前捻角が初回 ACL 損傷の解剖学的危険因子の一つとして示唆される報告がある⁷⁾。我々も若年女性アスリートを対象にした先行研究で、健常者において大腿骨前捻角と片脚着地動作の膝外反角度に正の相関があることや⁸⁾、非接触型 ACL 損傷者と健常者との比較により、損傷側の大腿骨前捻角が健常者より有意に大きいことを報告してきた⁹⁾。しかし、対側損傷の解剖学的危険因子について、初回 ACL 損傷と同様に顆間窩幅¹⁰⁾や PTS¹¹⁾、大腿骨前捻角¹²⁾などの報告はあるものの、一定の見解は得られていないのが現状である⁵⁾。初回 ACL 損傷後に対側まで損傷する者は、危険因子が多いことが考えられるが、顆間窩幅、PTS、大腿骨前捻角の3つの解剖学的危険因子を併せて検討した報告はみられない。

そのため本研究では、若年女性アスリートを対象に、ACLR 後の対側損傷の解剖学的危険因子を抽出することを目的とし、顆間窩幅、PTS、大腿骨前捻角を後方視的に検証した。

対象および方法

研究デザイン：後方視的症例対照研究

1. 対象

対象は 2014 年 4 月から 2016 年 3 月までの ACLR 施行症例で、Tegner Activity Score (以下、TAS) 7 以上の女性アスリートとした。包含基準は、(1) 初回 ACL 損傷が中学・高校・大学生であること、(2) 受傷機転が非接触型損傷であること、(3) 初回 ACLR 後に元の競技スポーツに復帰したことを確認できた者とした。除外基準は、(1) ス

キーやスノーボード等のウィンタースポーツ、コリジョンスポーツでの損傷、(2) ACL 不全損傷、(3) 初回 ACLR からスポーツ復帰後 2 年以内の引退、(4) 下肢の整形外科的手術の既往とした。上記基準を満たし、初回 ACLR 後 2 年以上元の競技レベルでスポーツ活動を行い、対側損傷がないことを確認できた者 20 名 (片側群)、対側損傷が生じた両側 ACL 再建者 14 名 (両側群) を対象とした。

2. 方法

本研究における用語の定義として、片側群の損傷側 injured limb と両側群の初回損傷側 primary injured limb を初回側とし、片側群の非損傷側 uninjured limb と両側群の対側損傷側 contralateral injured limb を対側とした。

測定項目は顆間窩幅指数 (notch width index；以下、NWI)、PTS、大腿骨前捻角とした。

NWI は、先行研究¹³⁾に準じて、まず X 線顆間窩像において popliteal groove の高さに大腿骨を二分するように膝関節面と平行に線を引いた。この線に沿って、外側顆の内側面と内側顆の外側面との間の距離を顆間窩幅 (NW) とし、大腿骨顆部幅 (CW) に対する NW の比率 NW/CW を NWI として算出した (図 1A)。PTS は、先行研究^{11,14)}に準じて、X 線側面像において脛骨関節面の接線と脛骨の近位解剖軸の垂線との間の角度を測定した。近位解剖軸は、膝関節から 5cm と 15cm の距離にある脛骨皮質の直径の midpoint を結ぶ線で決定した (図 1B)。測定画像は、片側群では症状のない対側の画像評価がないため初回側の画像を、両側群では初回側および対側の画像を用いた。検者 1 名が 2 回測定し、平均値を算出した。なお NWI は顆間窩像の未実施者を除いた片側群 16 名と両側群 10 名で検討した。

大腿骨前捻角は Craig test を用いて測定した。Craig test は腹臥位股関節屈曲・伸展 0°、内転・外転 0°、膝関節屈曲 90° を基準線とし、触診にて大転子が最外側に達した時の股関節内旋角度を大腿骨前捻角とする方法である¹⁵⁾ (図 2)。マーカーを脛骨内顆・外顆の中央、足関節内果・外果の中央に貼付し、ポケットデジタル水平器 (Digi-pas 社製) を 2 点のマーカーで結んだ下腿長軸上当て、床面となす垂直線からの脛骨の傾きを 0.1° 単位で測定した。両脚の測定を 3 回ずつ行い、平均値を算出した。なお、誤差を最小限にするため、下肢操作と角度計操作は先行研究においてその信頼性

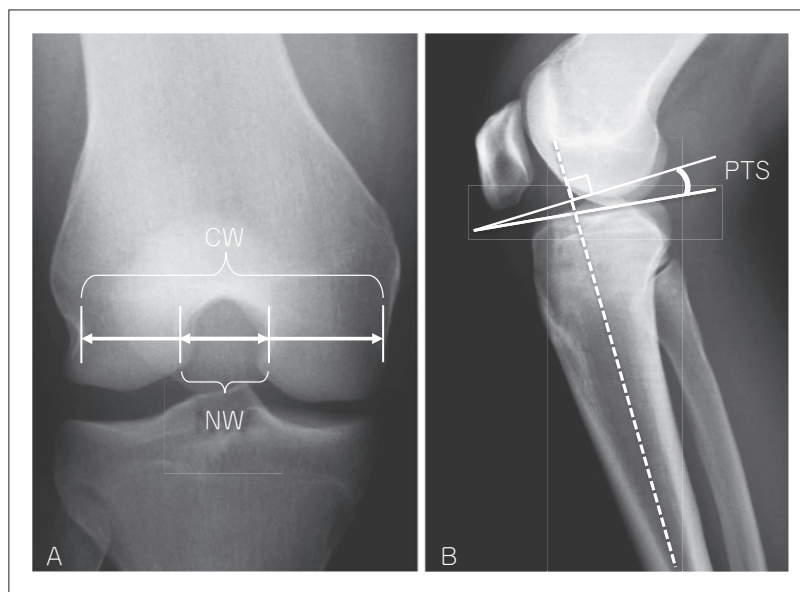


図1 顆間窩幅指数，脛骨後方傾斜角の測定方法

A) 顆間窩幅指数 (NWI) : X線顆間窩像による測定. Popliteal grooveの高さに関節面に平行な線を引き，顆間窩幅 (NW) と大腿骨顆部幅 (CW) との比である NW/CW を顆間窩幅指数 (NWI) として算出した.

B) 脛骨後方傾斜角 (PTS) : X線側面像による測定. 脛骨関節面の接線と脛骨の近位解剖軸 (破線) の垂線との角度を測定した. 近位解剖軸は，膝関節から 5cm と 15cm の距離にある脛骨皮質の直径の midpoint を結ぶ線で決定した.

NW, notch width ; CW, condylar width ; NWI, notch width index ; PTS, posterior tibial slope

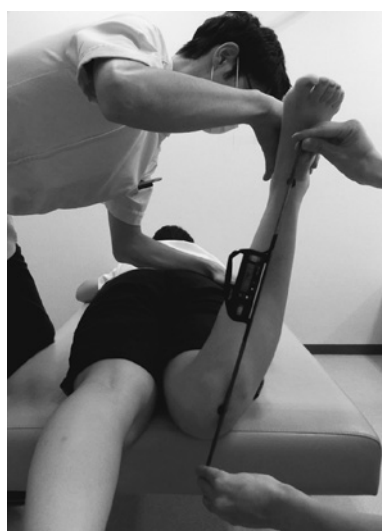


図2 大腿骨前捻角の測定 (Craig test)

大転子が最外側に達したときの股関節内旋角度を大腿骨前捻角とした.

を確認した同一検者にて測定を実施した⁹⁾. 測定時期は，片側群は初回 ACLR 前または術後 3 ヶ月以

降，両側群は対側の ACLR 後 3 ヶ月以降で，いずれも疼痛がなく膝関節可動域が伸展 0°，屈曲 130° 以上を獲得し，自立歩行が可能な状態であることを確認して実施した.

統計学的解析は，各検定に先立ち，基本属性と測定項目の各変数について Shapiro-Wilk 検定にて正規性を確認した. 年齢，身長，体重，BMI，初回再建時年齢については対応のない t 検定を，スポーツ種目については Fisher の直接確率検定を，初回術後経過期間 (片側群：初回 ACLR から対象への取り込みまでの期間，両側群：初回 ACLR から対側損傷までの期間) については Mann-Whitney の U 検定を用いて検討した. 測定項目である NWI，PTS については片側群の初回側と両側群の初回側および対側を多重比較法の Dunnett 法を用いて比較し，大腿骨前捻角については初回側と対側を対応のない t 検定を用いて比較した. また，平均値と標準偏差に基づいた事後解析により，効果量 (Cohen's *d*) を算出した. 得られた効果量の判定として，効果量小 ($d=0.20-0.49$)，効果量中 ($d=0.50-0.79$)，効果量大 ($d\geq 0.80$)

表 1 基本属性

	片側群 (n=20)	両側群 (n=14)	p 値
年齢 (歳)	21.2±2.1	21.9±3.3	0.44
初回再建時年齢 (歳)	18.2±1.6	17.4±2.4	0.24
初回術後経過期間 [†] (日)	932 (734-2164)	756 (325-2098)	0.12
身長 (cm)	164.0±7.6	167.6±5.4	0.13
体重 (kg)	57.4±5.8	61.2±6.4	0.08
BMI (kg/m ²)	21.3±1.7	21.8±1.8	0.47
家族歴 (n)	1	1	1.00
競技種目	バスケットボール：11, ハンドボール：4, ラクロス：2, バレーボール：2, アルティメット：1	バスケットボール：12, ハンドボール：1, ラクロス：1	0.46

[†]：片側群では初回 ACLR 後から対象への取り込みまでの期間を、両側群では初回 ACLR 後から対側損傷までの期間を、中央値 (範囲) で表した。

表 2 顎間窩幅指数 (NWI), 脛骨後方傾斜角 (PTS), 大腿骨前捻角の比較

	片側群 (n=20)	両側群 (n=14)	p 値 (Cohen's <i>d</i>)
NWI [†]			
初回側	0.279±0.024	0.278±0.017	0.85 (0.08)
対側		0.277±0.019	0.78 (0.12)
PTS			
初回側	11.4±1.7	10.7±2.0	0.46 (0.41)
対側		10.5±2.4	0.30 (0.48)
大腿骨前捻角			
初回側	17.6±5.3°	20.2±5.6°	0.18 (0.47)
対側	15.6±6.4°	21.5±5.9°	0.01* (0.95**)
左右平均	16.6±5.4°	20.9±5.2°	0.03* (0.81**)

NWI, notch width index ; PTS, posterior tibial slope

* : p<0.05, ** : Cohen's *d*>0.8

[†] : 片側群 (n=16), 両側群 (n=10)

とした¹⁶⁾。さらに両群間で有意な変数において Receiver Operating Characteristic Curve (ROC 曲線)での分析を行い、曲線下面積 (Area Under the Curve : AUC)を算出し、カットオフ値を求めた。なお、カットオフ値は ROC 曲線の Youden Index が最も大きい点を対側損傷のカットオフポイントと定めた。また、算出されたカットオフ値を用いて Fisher の直接確率検定により対側損傷のオッズ比を算出した。統計ソフトは R2.8.1 を用い、有意水準は 5% 未満とした。

本研究の参加に先立って、日本鋼管病院倫理委員会の承諾を得て、ヘルシンキ宣言に基づき対象に対して研究内容と倫理的配慮を十分に説明し、同意を得て実施した。

結 果

対象の基本属性を表 1 に示した。片側群は年齢 21.2±2.1 歳、身長 164.0±7.6cm、体重 57.4±5.8kg、BMI 21.3±1.7kg/m²、両側群は年齢 21.9±3.3 歳、身長 167.6±5.4cm、体重 61.2±6.4kg、BMI 21.8±1.8kg/m²、家族歴は各群 1 名のみであった。また、スポーツ種目は、片側群はバスケットボール 11 名、ハンドボール 4 名、ラクロス 2 名、バレーボール 2 名、アルティメット 1 名で、両側群はバスケットボール 12 名、ハンドボール 1 名、ラクロス 1 名であった。各項目で両群に有意差はなかった。

各群における測定値を表 2 に示した。NWI, PTS はいずれも両群に有意差はなかった。大腿骨前捻角は、初回側において片側群と両側群で有意

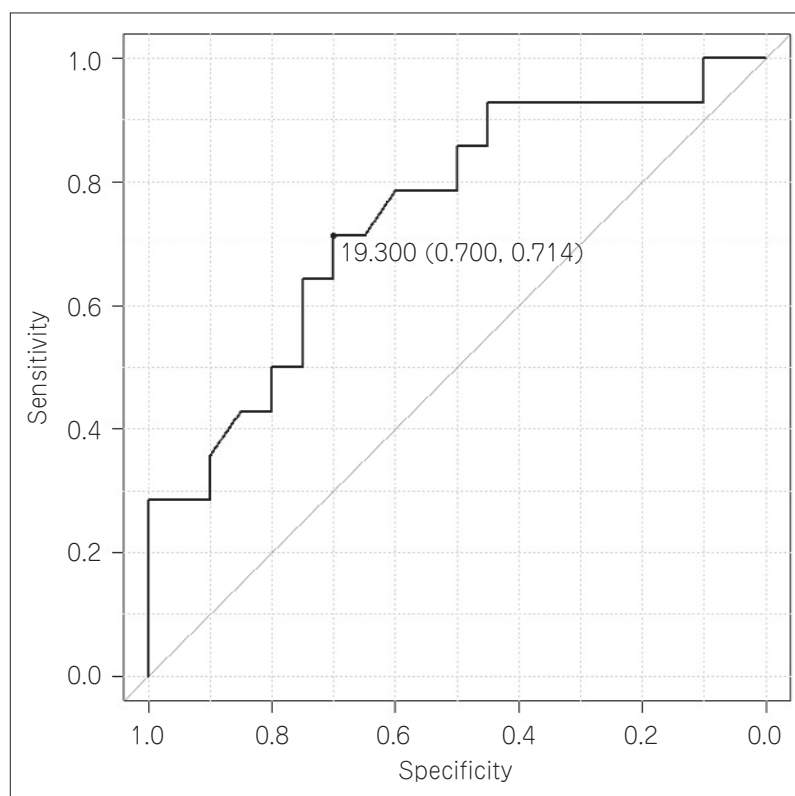


図3 ROC 曲線
片側群と両側群の対側の大腿骨前捻角からカットオフ値を算出した結果、カットオフ値は 19.3°、AUC=0.75 (95%CI=0.57-0.92) であった。

表3 カットオフ値による対側損傷のオッズ比
対側の大腿骨前捻角がカットオフ値 19.3° 以上である者は、片側群では 20 名中 6 名に対し、両側群では 14 名中 10 名であった。
Fisher の直接確率検定にて、オッズ比は 5.5 (95%CI : 1.06-34.92, p=0.03) であった。

	片側群	両側群	計
大腿骨前捻角 19.3° 以上	6	10	16
大腿骨前捻角 19.3° 未満	14	4	18
計	20	14	34

差はなかったが (p=0.18, Cohen's $d=0.47$: 効果量小), 対側において両側群 $21.5 \pm 6.1^\circ$ は片側群 $15.6 \pm 6.4^\circ$ より有意に大きい値を示した (p=0.01, Cohen's $d=0.95$: 効果量大). 左右平均でも両側群は片側群よりも有意に大きい値を示した (p=0.03, Cohen's $d=0.81$: 効果量大). また片側群と両側群の対側から算出した ROC 曲線から、カットオフ値は 19.3° (特異度 0.70, 感度 0.71, AUC : 0.75, 95% CI : 0.57-0.92) であった (図 3). 算出されたカットオフ値 19.3° 以上の場合、対側損傷のオッズ比は 5.5 (95%CI : 1.06-32.92, p=0.03) であった (表 3).

また、大腿骨前捻角の左右差は、片側群 $4.4 \pm 2.7^\circ$ (1-11.1°), 両側群 $3.8 \pm 3.4^\circ$ (0-12.9°) で有意差はなく (p=0.58), 全対象 (n=34) では $4.2 \pm 3.0^\circ$ (0-12.9°) であった。

考 察

本研究は ACLR 後の対側損傷の解剖学的危険因子を抽出することを目的に、TAS7 以上の女性アスリートで片側 ACLR 者と両側 ACLR 者を対象にして比較した。その結果、NWI, PTS はいずれも有意差はなかった。一方で、大腿骨前捻角は初回側において両群に有意差はなかったが、対側において両側群は片側群よりも有意に大きく、ROC 曲線から算出された対側損傷のカットオフ値は 19.3° であった。さらに対側だけでなく左右平均でも両側群は片側群よりも有意に大きかった。よって、両側損傷する者は片側損傷する者より大腿骨前捻角が大きく、対側の大きな大腿骨前捻角が ACLR 後の対側損傷に影響を与え得る解剖学的危険因子の一つである可能性が示唆された。

初回 ACL 損傷の解剖学的危険因子として、顆間窩幅が狭いこと、PTS が大きいことは十分なエビデンスが得られている。Dienst らは、顆間窩幅が狭いほど ACL の断面積は小さくなることを報告し、顆間窩幅が狭いことによって ACL がインピンジメントするだけでなく、ACL 自体の力学的強度の問題が ACL 損傷の原因になっている可能性を示唆している¹⁷⁾。また PTS が大きいことによって、大腿骨に対する脛骨の前方剪断力が増加するため、ACL に過剰な張力が生じることが報告されている¹⁸⁾。すなわち膝関節内の骨形態である顆間窩幅や PTS は、ACL に直接的に影響を与える因子と解釈できる。初回 ACL 損傷後に対側まで損傷する両側群は、片側群よりも危険因子が多いことが考えられたが、本研究において NWI と PTS はいずれも両群に有意差は認められなかった。過去の後方視的研究において、この結果と同様の報告がなされている。Yellin¹⁹⁾らの報告では、健常群、片側群、両側群の3群において NWI を比較した結果、両側群は健常群よりも有意に小さかったものの、片側群とは有意差を認めなかった。Hendrix らの報告²⁰⁾では、健常群、片側群、両側群の3群において PTS を比較した結果、年齢と活動レベルでの調整の有無に関わらず、両側群は健常群よりも有意に大きかったものの、片側群とは有意差を認めなかった。本研究と先行研究の結果から、片側群と両側群はいずれも ACL 損傷者であるため、膝関節内の骨形態の解剖学的危険因子として同程度のリスクを有していたことが考えられる。

一方、大腿骨前捻角について両側群と片側群を比較した後方視的研究報告は渉猟し得なかった。前方視的研究として Davey らは初回損傷の高校・大学女性アスリート 55 名を対象に ACLR 後 3 年フォローし、大きな大腿骨前捻角によって対側損傷のハザード比が有意に高くなることを報告した¹²⁾。しかしこの研究では、対象から膝周囲以外への接触によるインダイレクト損傷が除外されていないため、外因性が関与している可能性がある。また、両側損傷群と片側損傷群の群別の測定値やカットオフ値など臨床的指標の記載はなかった。本研究は後方視的研究ではあるが、大腿骨前捻角が対側損傷の危険因子である可能性が示唆され、Davey らの報告を支持する結果となった。さらに非接触型損傷のみを対象を限定することで外因性

の影響を極力除外し、初回再建時年齢や NWI および PTS などに両群間に有意差がないことを確認したことに加えて、過去の研究では検討されていない大腿骨前捻角のカットオフ値を臨床的指標として算出したことは新たな知見であると考えられる。

着地・カッティング動作による初回 ACL 損傷時の股関節キネマティクスは屈曲・内旋位であるとされる⁶⁾。また、再損傷の危険因子に関する前方視的研究において、健側股関節内旋モーメントが大きいことが再損傷の危険因子として報告されている²¹⁾。このように ACL 損傷には股関節バイオメカニクスが関連しているが、大腿骨の捻れである大腿骨前捻角も股関節バイオメカニクスに影響を及ぼす。大腿骨前捻角が大きい場合、外旋位や回旋中間位では寛骨臼に対して骨頭が過度に前方を向き、股関節適合性が低下し²²⁾、かつ中殿筋モーメントアームが減少する²³⁾。そして関節適合性の改善やモーメントアーム補正を得るためには、下肢を内旋することで代償される^{22, 23)}。また、Kaneko らは片脚着地動作の 3 次元動作解析によって、大腿骨前捻角が小さい群 $16.7 \pm 1.7^\circ$ に比し、大きい群 $20.7 \pm 3.3^\circ$ では膝関節外反角度が大きく、股関節屈曲角度が小さいこと、また、大腿直筋の筋活動が増加し、大殿筋の筋活動が低下することを報告した²⁴⁾。すなわち大腿骨前捻角が大きい者は、スポーツ活動中に繰り返される着地・カッティング動作などで衝撃吸収をする際に、中殿筋モーメントアーム補正や関節の適合性を高めるために股関節内旋が生じやすくなる。さらに、中殿筋や大殿筋の筋活動低下によって股関節が内転・内旋しやすく、着地により足部が固定されることで運動連鎖から膝関節外反となり、ACL 損傷時に近いアライメントになると考えられる。先行研究^{7, 9)}において非接触型 ACL 損傷者の大腿骨前捻角が非損傷者よりも大きいとの報告があるが、本研究において対側のみならず左右平均でも両側損傷者は片側損傷者よりも有意に大きかった。このように大腿骨前捻角が両側とも大きいと、着地やカッティング動作で膝関節外反につながり、両膝の ACL へのメカニカルストレスが大きくなりやすく、ACLR 後に対側も非接触型損傷が生じる可能性が高くなると考えられる。本研究の測定値は片側群の左右平均 $16.6 \pm 5.4^\circ$ 、対側 $15.6 \pm 6.4^\circ$ 、また両側群の左右平均 $20.9 \pm 5.2^\circ$ 、対側 $21.5 \pm 6.1^\circ$ であり、

その差は5°程度であった。しかし効果量は左右平均0.81, 対側0.95といずれも効果量大であり、臨床的意義は大きいと考えられる。Alpayらは非損傷群 $11.9 \pm 2.0^\circ$ より非接触型ACL損傷群 $19.4 \pm 3.0^\circ$ が有意に大きいこと⁷⁾、また我々も非損傷者 $13.2 \pm 4.9^\circ$ より非接触型ACL損傷者の損傷側 $17.5 \pm 5.0^\circ$ が有意に大きいことを報告した⁹⁾。このことより、正常値 $10 \sim 15^\circ$ ²²⁾からの逸脱が大きくなると股関節バイオメカニクスに影響を及ぼす可能性があり²²⁻²⁴⁾、ACL損傷のリスクが高くなることが考えられる。

以上より、顆間窩幅やPTSはACLに直接的な影響を与える因子である一方で、大腿骨前捻角は同じ骨形態ではあるが、直接的には股関節バイオメカニクスに影響して膝関節外反角度という生体力学の問題を惹起しうる^{8,24)}、つまりACLに間接的に関与する因子と考えられる。よって大腿骨前捻角を評価することは、生体力学の問題が生じやすい身体的特徴を有する者を抽出している可能性がある。本研究のように膝関節内の骨形態であるNWIやPTSが同程度のリスクを有する者の中では、膝関節外の骨形態である大腿骨前捻角が対側損傷の危険因子として抽出されたのではないかと解釈できる。大きな大腿骨前捻角自体は修正不可能であるが、股関節バイオメカニクスを修正することで、大腿骨前捻角が及ぼす生体力学の問題は修正可能かもしれない。この点については今後検証していく必要がある。

本研究結果から臨床応用を考えると、ACLR症例において術前評価や術後早期から対側の大腿骨前捻角をスクリーニングテストとして測定することが挙げられる。測定方法として、CTやMRIのような画像評価は被曝、施設、費用、時間の問題がある。一方、本研究で用いたCraig testは、簡便で低コストで携帯可能な備品で数分以内に実施でき、下肢回旋アライメントにおける有益な情報が得られるため、スクリーニングテストとして適していると考えられる。Craig testの信頼性については、MRIと高い相関があり²⁵⁾、一般的に使用されている^{8,9,12,24)}。また、対側損傷のカットオフ値は 19.3° (AUC: 0.75)で一定の精度が認められたことより、臨床的には簡便に大腿骨前捻角 20° 以上を一つの目安とすることで、対側損傷リスクの高い選手を抽出できる可能性が考えられる。なおDimitriou²⁶⁾らは3D-CTによって健常成人の大腿

骨形態の左右差について検討し、大腿骨前捻角に $4.3 \pm 3.8^\circ$ ($0.2^\circ - 17.3^\circ$)の左右差があることを報告している。同様に本研究における大腿骨前捻角の左右差は $4.2 \pm 3.0^\circ$ ($0^\circ - 12.9^\circ$)であったことより、初回側の前捻角の大小にかかわらず、骨形態に個体差や左右差があることを考慮して大腿骨前捻角を測定する必要があると考えられる。

本研究の限界として、第一に、後方視的研究であるため因果関係が明らかではないことが挙げられる。今後は前方視的研究において、ACLR後の対側損傷の危険因子として因果関係を明らかにしていく必要がある。第二に、本研究はCraig testを用いており、あくまでも体表からの測定であるため、大腿骨前捻角の詳細な測定としてはCTなどの画像評価が望ましいと考えられる。第三に、本研究は女性のみを対象としていることである。対象の多くが男性である報告⁹⁾でもACL損傷の危険因子に大きな大腿骨前捻角が挙げられていることから、女性のみならず男性においても対側損傷の解剖学的危険因子である可能性があり、今後検証する意義がある。第四に、片側群のフォロー期間が短いことが挙げられる。本研究では包含基準を初回ACLR後最低2年以上元の競技スポーツを継続した者としたが、再建靭帯損傷は術後2年以内、対側損傷は術後2~4年で多い⁵⁾と報告されている。今後片側群から対側損傷が生じる可能性は払拭できないため、さらなる長期のフォローが必要である。

結 語

若年女性アスリートにおいてACLR後の対側損傷の解剖学的危険因子を抽出するために片側群と両側群を比較した。結果、NWIとPTSに有意差はなかったが、大腿骨前捻角は両側群が片側群よりも有意に大きく、大きな大腿骨前捻角がACLR後の対側損傷の解剖学的危険因子である可能性が示唆された。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

文 献

- 1) Ardern CL, Taylor NF, Feller JA, et al. Sports participation 2 years after anterior cruciate ligament reconstruction in athletes who had not return to

- sport at 1 year: a prospective follow-up of physical function and psychological factors in 122 athletes. *Am J Sports Med.* 2015; 43: 848-856.
- 2) Wiggins AJ, Grandhi RK, Schneider DK, et al. Risk of secondary injury in younger athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2016; 44: 1861-1876.
 - 3) Ahlden M, Samuelsson K, Sernert N, et al. The Swedish national anterior cruciate ligament register. *Am J Sports Med.* 2012; 40: 2230-2235.
 - 4) 川島達宏, 大見頼一, 尹 成作, 他. 膝前十字靭帯再建術後の同側損傷・反対側損傷の性差. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2015; 23: 496-502.
 - 5) 石橋恭之, 黒田良祐, 前 達雄(編). パーフェクト前十字靭帯再建術. 第1版. 京都: 金芳堂; 65-69, 168-173, 2020.
 - 6) Koga H, Nakamae A, Shima Y, et al. Hip and ankle kinematics in noncontact anterior cruciate ligament injury situations: video analysis using model-based image matching. *Am J Sports Med.* 2018; 46: 333-340.
 - 7) Alpay Y, Ezici A, Kurk MB, et al. Increased femoral anteversion related to infratrochanteric femoral torsion is associated with ACL rupture. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020; 28: 2567-2571.
 - 8) 金子雅志, 大見頼一, 尹 成作, 他. 大腿骨前捻角が片脚着地時の膝関節外反角度に与える影響—二次元動作解析法を用いて—. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2015; 23: 50-57.
 - 9) 國田泰弘, 金子雅志, 大見頼一, 他. 女性スポーツ選手における膝前十字靭帯損傷者の大腿骨前捻角について. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2016; 24: 390-395.
 - 10) Levins JG, Argentieri EC, Sturnick DR, et al. Geometric characteristics of the knee are associated with a noncontact ACL injury to the contralateral knee after unilateral ACL injury in young female athletes. *Am J Sports Med.* 2017; 45: 3223-3232.
 - 11) Salmon LJ, Heath E, Akrawiet H, et al. 20-year outcomes of anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendon autograft: the catastrophic effect of age and posterior tibial slope. *Am J Sports Med.* 2018; 46: 531-543.
 - 12) Davey AP, Vacek PM, Caldwell RA, et al. Risk factors associated with a noncontact anterior cruciate ligament injury to the contralateral knee after unilateral anterior cruciate ligament injury in high school and college female athletes. *Am J Sports Med.* 2019; 47: 3347-3355.
 - 13) Souryal TO, Moore HA, Evans JP. Bilaterality in anterior cruciate ligament injuries: associated intercondylar notch stenosis. *Am J Sports Med.* 1988; 16: 449-454.
 - 14) Webb JM, Salmon LJ, Leclerc E, et al. Posterior tibial slope and further anterior cruciate ligament injuries in the anterior cruciate ligament-reconstructed patient. *Am J Sports Med.* 2013; 41: 2800-2804.
 - 15) Ryder T, Crane L. Measuring femoral anteversion: the problem and a method. *J Bone and Joint Surg.* 1953; 35: 321-328.
 - 16) Cohen J. A power primer. *Psychological Bulletin.* 1992; 112: 155-159.
 - 17) Dienst M, Schneider G, Altmeyer K, et al. Correlation of intercondylar notch cross sections to the ACL size: a high resolution MR tomographic in vivo analysis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2007; 127: 253-260.
 - 18) Marouane H, Shirazi-Adl A, Adouni M, et al. Steeper posterior tibial slope markedly increases ACL force in both active gait and passive knee joint under compression. *J Biomech.* 2014; 47: 1353-1359.
 - 19) Yellin JL, Parisien RL, Talathi NS, et al. Narrow notch width is a risk factor for anterior cruciate ligament injury in the pediatric population: a multi-center study. *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation.* 2021; 3: e823-e828. <https://doi.org/10.1016/j.asmr.2021.01.024> [Accessed 1 October, 2021].
 - 20) Hendrix ST, Barrett AM, Chrea B, et al. Relationship Between Posterior-Inferior Tibial Slope and Bilateral Noncontact ACL Injury. *Orthopedics.* 2017; 40: 136-140.
 - 21) Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, et al. Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med.* 2010; 38:

- 1968-1978.
- 22) Neumann DA. 筋骨格系のキネシオロジー. 第1版. 嶋田智明 (訳). 東京: 医歯薬出版: 413-415, 2007.
- 23) Arnold AS, Komattu AV, Delp SL, et al. Internal rotation gait: a compensatory mechanism to restore abduction capacity decreased by bone deformity. *Dev Med Child Neurol.* 1997; 39: 40-44.
- 24) Kaneko M, Sakuraba K. Association between femoral anteversion and lower extremity posture upon single-leg landing: implications for anterior cruciate ligament injury. *J Phys Ther Sci.* 2013; 25: 1213-1217.
- 25) Tamari K, Tinley P, Briffa K, et al. Validity and reliability of existing and modified clinical methods of measuring femoral and tibiofibular torsion in healthy subjects: use of different reference axes may improve reliability. *Clinical Anatomy.* 2005; 18: 46-55.
- 26) Dimitriou D, Tsai TY, Yue B, et al. Side-to-side variation in normal femoral morphology: 3D CT analysis of 122 femurs. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Reserch.* 2016; 102: 91-97.

(受付: 2021年4月1日, 受理: 2022年2月14日)

Association between femoral anteversion and the risk of contralateral anterior cruciate ligament injury after reconstruction in female athletes

Kaneko, M.^{*1}, Kunita, Y.^{*2}, Omi, Y.^{*1}, Kurihara, T.^{*1}
 Seki, D.^{*1}, Inoue, T.^{*1}, Inoue, M.^{*1}, Kawashima, T.^{*3}
 Hoshida, T.^{*4}, Kuriyama, S.^{*4}

^{*1} Department of Rehabilitation, Nippon Koukan Hospital

^{*2} Department of Rehabilitation, Kawamoto Orthopedic Clinics

^{*3} Department of Rehabilitation, Ichihara Hospital

^{*4} Department of Sports Orthopedic Surgery, Tokyo Asuka Hospital

Key words: risk factor, anterior cruciate ligament injury, contralateral

[Abstract] (Purpose) For female athletes, the anatomical risk factors for contralateral anterior cruciate ligament (ACL) injury have not been clarified. This study was conducted to clarify whether there is a difference in the anatomical risk factors between unilateral and bilateral ACL-reconstructed patients.

(Methods) The study participants were 20 unilateral ACL-reconstructed patients and 14 bilateral ACL-reconstructed patients, all with noncontact injury patterns. In addition to the notch width index (NWI) and posterior tibial slope using radiographs, we used Craig's test to assess femoral anteversion.

(Results) No significant differences were found between the NWI and posterior tibial slope. However, the femoral anteversion of the contralateral injured limb in the bilateral group was significantly higher than that of the uninjured limb in the unilateral group. The cutoff value was calculated as 19.3° using the ROC curve. A cutoff value of 19.3° produced an odds ratio of 5.5 for the risk of developing contralateral ACL injury.

(Conclusion) Greater femoral anteversion is inferred as a possible anatomical risk factor leading to contralateral ACL injury. Measuring femoral anteversion may be useful to classify athletes with a high risk of contralateral ACL injury.