

# 女子バスケットボール選手の リバウンド動作時における下肢キネマティクス

原 著

Kinematics of the lower limb joint during rebound of female basketball players

瀬戸宏明\*, 篠塚ななみ\*, 泉 重樹\*, 平野裕一\*

キー・ワード : anterior cruciate ligament injury, basketball, rebounding  
前十字靭帯損傷, バスケットボール, リバウンド動作

【要旨】 前十字靭帯 (ACL) 損傷の頻度が多いとされる女子バスケットボールの動作において, 実際の動作に近い水平回転運動やボール所持を伴う状態でのリバウンドの際の下肢キネマティクスを検証した. 傷害をもたない大学女子バスケットボール選手 5 名を対象とした. バスケットボールのリバウンド動作と同様の正面着地と水平回転を伴う側方着地, これにそれぞれボール保持をあわせた 4 種類の課題動作をおこなった. 踏み込み脚 (TL)・非踏み込み脚 (TOL) についてそれぞれ初期接地時 (IC) の股関節屈曲, 膝関節屈曲・外反の角度と IC から 40ms までの変化量を算出した. IC において TL では水平回転を伴うことにより膝関節屈曲角度の増加がみられ TOL では回転を伴うことにより股関節屈曲角度と膝関節屈曲角度の減少と膝関節外反角度の増加がみられた. TL と TOL において IC から IC 後 40ms までの変化量は股関節屈曲角度ではボールなしの水平回転で, 膝関節屈曲角度ではボールの有無にかかわらず水平回転で有意差がみられた. リバウンド動作において IC ではボール保持の有無にかかわらず水平回転を伴う場合は TOL では stiff landing に近い状態となり膝外反角度も有意に大きかった. また TL と比較して TOL では膝屈曲角度の変化量が有意に増加していた. そのため TOL では非接触性の ACL 損傷がたかまる可能性が示唆された.

## はじめに

前十字靭帯 (Anterior cruciate ligament : 以下 ACL) はスポーツ外傷として損傷頻度が高く, かつ復帰まで時間を要する靭帯であり, アメリカでは年間 12 万件以上が報告されている<sup>1)</sup>. 日本でも多くの ACL 損傷が発生するが, Takahashi らは中学から高校生までは年間約 3,000 件の受傷件数があり, 女性は男性よりも 2.8 倍発生頻度が高くバスケットボールと柔道の受傷が多かったと報告しており<sup>2)</sup>, また 10 代後半から 20 代前半で発生率はピークをむかえる<sup>3)</sup>.

動作としては急激な方向転換, ジャンプ後の着地, ストップ動作時に受傷することが多く<sup>4)</sup>, 受傷機転の多くがそれらの動作による knee-in toe-out

によって ACL 損傷が発生するともいわれてきた. しかし現在では knee-in toe-out は ACL 損傷後に生じる肢位であって, その前に損傷は発生している着地後 40ms ほどで損傷している可能性があるとの報告<sup>5)</sup>もあり, いまだに明らかにされていない部分も多い. ACL 損傷は競技別では柔道やラグビーなどのコンタクトスポーツやサッカーなど球技に発生することが多いが, そのなかでも頻度の高いバスケットボールの動きの中では, カッティング動作, ストップ動作, ジャンプ着地時 (リバウンド動作後の着地など) に損傷が起きる頻度が高く, 特にジャンプ着地時の損傷が多かったという報告<sup>6)</sup>がある. しかし Drop vertical jump など単純な動きの解析<sup>7)</sup>は多いが, 実際の競技の動きに近い回転やボール所持を伴うジャンプ動作などについての解析の報告は少ない.

ACL 損傷は受傷すると復帰に長期間を要する

\* 法政大学スポーツ健康学部

ことも多い。そのため予防がきわめて重要となってくる。多くの予防プログラムが検証されておりその効果が認められている<sup>8)</sup>が、限られた練習時間のなかでそれらをおこなうには多くの時間を費やすため完全に普及されているかは疑問である。

本研究の目的は ACL 損傷の頻度が多いとされる女子バスケットボールの動作において、実際の動作に近い水平回転運動やボール所持をした状態でのリバウンドの際の下肢キネマティクスを解析して、リバウンド動作時に何が生じているのかを検証することである。

## 対象および方法

### 対象

対象は関東1部リーグ所属の女子バスケットボール選手5名とした。対象者の選択においては、課題動作に支障がなく特別な理由で欠席したことを除き毎回の練習や試合に出場可能な選手を対象とした。倫理的配慮としてヘルシンキ宣言を遵守して、各対象者には事前に研究内容の説明を口頭と書面で実施して研究参加への同意を得た。本研究は法政大学スポーツ健康学部倫理委員会の承認を得たものである（承認番号：2019-29）。

### 方法

対象者は大路らの報告に準じて<sup>9)</sup>ウォーミングアップとしてセルフストレッチと無負荷エルゴメーター駆動を5分ずつ実施した後に課題動作を3回ずつ練習した。普段リバウンドの踏み切りで使用している脚を踏み切り脚（takeoff leg：以下 TL）、反対側を非踏切脚（takeoff opposite leg：以下 TOL）と定義して TL で踏み切った際のリバウンド動作を分析対象とした。

課題動作は、バスケットボールの実際の試合を想定して考案した以下のリバウンド動作4種類とした。

1種類目：ボールなしで正面に着地（以下 front）

2種類目：ボールなしで空中において TL 側に90度水平回転をおこない着地（以下 side）

3種類目：ジャンプ後の最高到達点においてボールをキャッチ後、両手でボールを所持して正面で着地（以下 ballfront）

4種類目：ジャンプ後の最高到達点においてボールをキャッチ後、両手でボールを所持しつつ空中において TL 側に90度水平回転をおこない

表1 対象者の基本情報

年齢（歳）	20.4 [19.3, 21.5]
身長（cm）	158.7 [153.8, 163.6]
体重（kg）	56.4 [52.3, 60.5]
BMI（kg/m <sup>2</sup> ）	22.4 [21.8, 22.9]

平均値 [95% 信頼区間]

着地（以下 ballside）

front と side では上肢運動による着地への影響を取り除くために着地時に両上肢を前胸部で組ませた。ballfront と ballside ではバスケットボールの動作に基づいて着地時に肩の上でのボール所持とした。

計測には、赤外線カメラ10台（Vicon MX, Vicon Motion Systems, USA）を用いた。Hewett から報告に基づき<sup>7)</sup>反射マーカーを25点装着して3次元座標データを200Hzで収集した。

課題動作の各々で成功した3回のデータを対象とし、3次元座標の移動座標系を用いて、股関節屈曲、膝関節屈曲、膝関節外反の各角度を算出<sup>10)</sup>した。解析範囲は接地（initial ground contact：以下 IC）前200msからIC後400msまでとし、すべての関節角度において、ICとIC後40msの関節角度とその期間内の最大値から最小値を引いた変化量を算出した。

股関節屈曲、膝関節屈曲、膝関節外反の各角度についてICのfront, side間の比較、ballfront, ballside間の比較でTL, TOLともに対応のあるt検定をおこない、どのような関節角度の違いがあるのか検討した。また、ICのTL, TOL間の比較についてそれぞれの課題動作の比較のため対応のあるt検定をおこなった。変化量については股関節屈曲、膝関節屈曲、膝関節外反においてそれぞれ動作（front, side, ballfront, ballside）と脚（TL, TOL）との間に有意差が認められるか検討するために2要因分散分析をおこなった。有意水準は $p < 0.05$ とした。

これら統計学的分析にはSPSS statistics 25（IBM Corp, USA）を使用した。

## 結果

対象者は年齢 $20.4 \pm 0.8$ 歳：身長 $158.7 \pm 3.6$ cm：体重 $56.4 \pm 3.0$ kg：BMI $22.4 \pm 0.4$ であった。分布の正規性についてはShapiro-Wilk testにて検討をおこなった（表1）。検討の結果 $p \geq 0.05$ であったため正規性を認めて、その後の統計解析

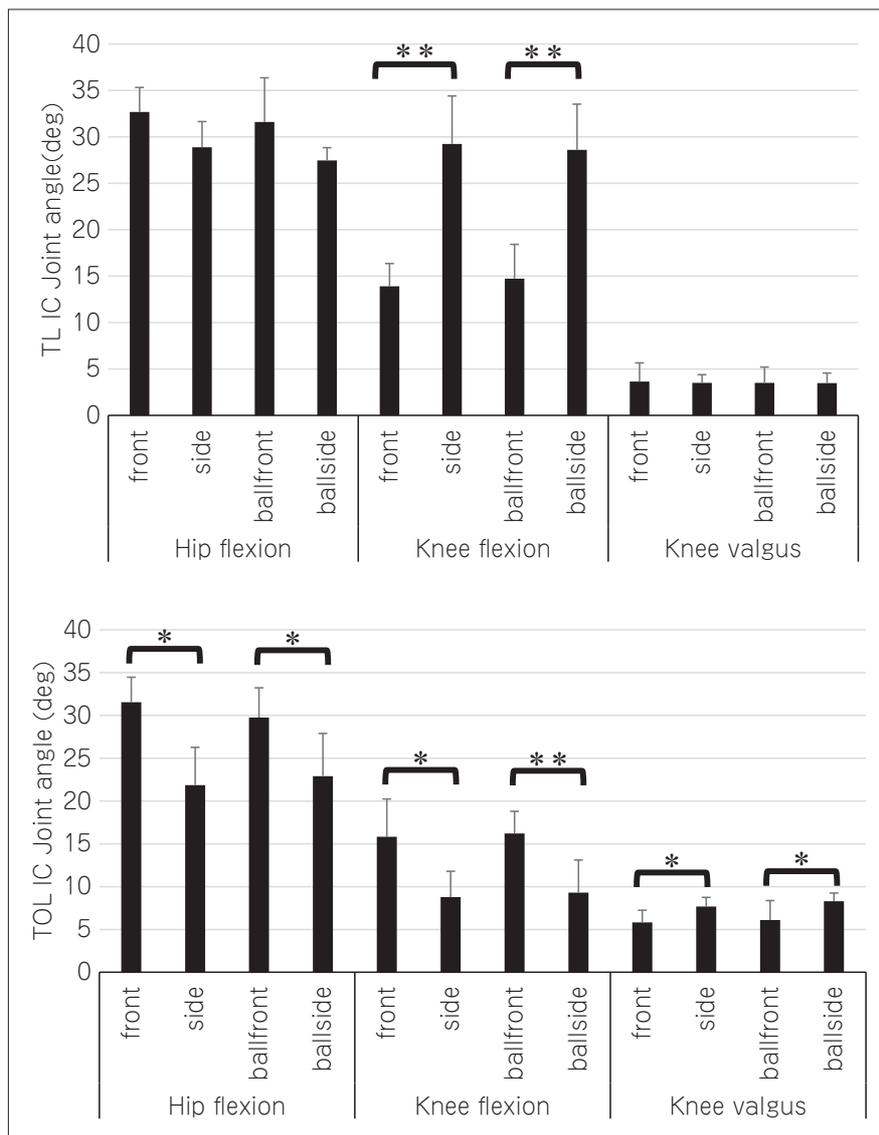


図1 IC角度における front-side, ballfront-ballside の比較  
 TL: 踏み切り脚 TOL: 非踏み切り脚 IC: 初期接地時  
 front: ボールなし 正面着地 side: ボールなし 回転着地  
 Ballfront: ボールあり 正面着地 ballside: ボールあり 回転着地  
 \*: p<0.05  
 \*\*: p<0.01

は t 検定と分散分析でおこなった。

IC における股関節屈曲角度, 膝関節屈曲角度, 膝関節外反角度を比較すると TL では膝屈曲角度が front, ballfront と比較してそれぞれ side, ballside で有意に増加していた (front-side p<0.01, ballfront-ballside p<0.01)。その他で有意差はみられなかった。TOL では股関節屈曲角度が front, ballfront と比較してそれぞれ side, ballside で有意に減少しており (front-side p<0.05, ballfront-ballside p<0.05), 膝関節屈曲角度が front, ballfront と比較してそれぞれ side, ballside で有意に

減少していた (front-side p<0.05, ballfront-ballside p<0.01)。また膝関節外反角度が front, ballfront と比較してそれぞれ side, ballside で有意に増加していた (front-side p<0.05, ballfront-ballside p<0.05)。TL, TOL とともにボール保持の有無で膝関節外反角度に有意差はみられなかった (図 1)。

TL, TOL 間で比較すると front では有意差はみられなかったが, side で TOL で股関節屈曲角度, 膝関節屈曲角度が減少しており膝関節外反角度は増加していた (それぞれ p<0.05, p<0.01, p<

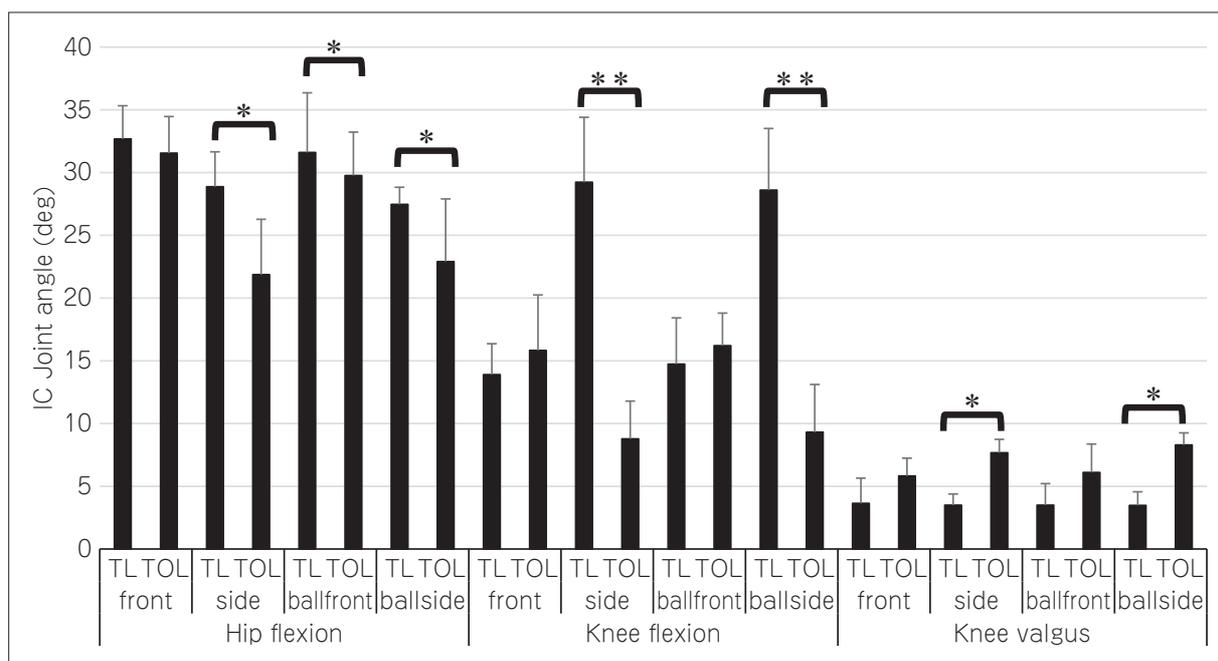


図2 IC角度におけるTLとTOLの比較

TL：踏み切り脚 TOL：非踏み切り脚 IC：初期接地時

front：ボールなし 正面着地 side：ボールなし 回転着地

Ballfront：ボールあり 正面着地 ballside：ボールあり 回転着地

\*：p<0.05

\*\*：p<0.01

表2 ICからIC後40msまでの股関節屈曲角度の変化量の比較

		TL	TOL	両脚間比較 (p値)
Hip flexion	front	14.4 [11.0, 17.9]	16.4 [13.0, 19.9]	—
	side	8.7 [5.3, 12.2]	12.0 [8.5, 15.4]	p<0.01
	ballfront	15.8 [12.4, 19.3]	18.5 [15.0, 21.9]	—
	ballside	10.2 [6.8, 13.7]	13.8 [10.4, 17.3]	—

平均値 [95%信頼区間] TL：踏み切り脚 TOL：非踏み切り脚 IC：初期接地時

front：ボールなし 正面着地 side：ボールなし 回転着地

Ballfront：ボールあり 正面着地 ballside：ボールあり 回転着地

0.05). ballfrontではTOLで股関節屈曲角度が減少しており(p<0.05), ballsideではTOLで股関節屈曲角度と膝関節屈曲角度の減少, 膝関節外反角度が増加していた(それぞれp<0.05, p<0.01, p<0.05)(図2).

ICからIC後40msまでの股関節屈曲角度, 膝関節屈曲角度, 膝関節外反角度の変化量をそれぞれの動作(front, side, ballfront, ballside)とTL, TOL間で2要因分散分析をもちいて検討してみると, 股関節屈曲角度ではsideにおいてのみTOLが有意に増加していた(F(1, 19)=87.3, p<0.01). 膝屈曲角度ではsideとballsideにおいて

TOLが有意に増加していた(それぞれF(1, 19)=39.8, p<0.01, F(1, 19)=40.2, p<0.01).) 膝関節外反角度ではそれぞれの動作で有意差はみられなかった(表2~4).

## 考察

本研究ではバスケットボールにおいて実際の動作に近いリバウンド動作に着目して検証をおこなった。まずICであるが, 単純な正面着地であるfront, ballfrontと比較して水平回転運動を伴う横向き着地のside, ballsideでTOLは股関節屈曲角度, 膝関節屈曲角度が有意に小さくなっており,

表3 IC から IC 後 40ms までの膝関節屈曲角度の変化量の比較

		TL	TOL	両脚間比較 (p 値)
Knee flexion	front	26.5 [23.4, 29.7]	29.5 [26.4, 32.7]	—
	side	28.4 [25.2, 31.5]	32.9 [29.7, 36.0]	p<0.01
	ballfront	15.6 [12.4, 18.7]	21.5 [18.3, 24.6]	—
	ballside	18.4 [15.3, 21.6]	22.6 [19.4, 25.7]	p<0.01

平均値 [95% 信頼区間] TL: 踏み切り脚 TOL: 非踏み切り脚 IC: 初期接地時  
 front: ボールなし 正面着地 side: ボールなし 回転着地  
 Ballfront: ボールあり 正面着地 ballside: ボールあり 回転着地

表4 IC から IC 後 40ms までの膝関節外反角度の変化量の比較

		TL	TOL	両脚間比較 (p 値)
Knee valgus	front	3.2 [1.8, 4.5]	3.8 [2.4, 5.1]	—
	side	2.8 [1.5, 4.2]	4.2 [2.9, 5.6]	—
	ballfront	3.4 [2.1, 4.8]	4.3 [2.9, 5.6]	—
	ballside	3.4 [2.1, 4.9]	4.8 [3.5, 6.2]	—

平均値 [95% 信頼区間] TL: 踏み切り脚 TOL: 非踏み切り脚 IC: 初期接地時  
 front: ボールなし 正面着地 side: ボールなし 回転着地  
 Ballfront: ボールあり 正面着地 ballside: ボールあり 回転着地

膝関節外反角度は有意に大きくなっていた。正面着地と比較して水平回転運動を伴ったことで膝屈曲角度や体幹前傾角度が浅い、いわゆる stiff landing<sup>11,12)</sup>の状態になったと考えられる。stiff landingは着地時の垂直床反力が高まりやすいことが報告<sup>13)</sup>されており、垂直床反力は膝関節外反角度に比例する<sup>14)</sup>ため、膝関節外反角度が有意に大きくなったと思われた。TLにおいて股関節屈曲角度は傾向としてはTOLとほぼ同様の結果であったが有意差はみられなかった。膝関節屈曲角度はside, ballsideで有意に大きくなっており、stiff landingの傾向は認められなかった。そのため膝関節外反角度も大きくならなかったと思われた。Dempseyらは体幹の回転は膝関節の外反に関連すると報告<sup>15)</sup>しており、遠心力によって体幹の回転の影響が強くなるTOLにおいて膝関節外反との関連性が顕著に現れたと考えられる。大路らは前方着地と比較して回転着地で床反力の増大がみられたが、ICから最大床反力が生じるまでの時間に関しては前方着地と比較して外回りで延長して内回りで短縮していたと報告<sup>9)</sup>している。今回の研究でのTLは大路らの報告にある外回りと一致、TOLは内回りと一致しており今回の研究からも最大床反力が生じるまでの時間が膝関節屈曲角度の差に影響をあたえている可能性が考えられた。

膝関節外反角度が大きくなるとACL損傷と関連性があるといわれるKnee-inが発生しやすくなる<sup>16)</sup>ため、ICでは水平回転運動によって特にTOLでACL損傷リスクが高くなる可能性が示唆された。

膝関節屈曲角度の変化量は、ballfrontはfrontに対して、ballsideはsideに対して減少傾向がみられた。また水平回転を伴うことによりボール保持にかかわらずTLとTOL間で有意差がみられた。水平回転を伴う場合は最大床反力は外回りよりも内回りで大きくなるとされているが<sup>9)</sup>本研究では外回りはTL、内回りはTOLに相当する。床反力の強さと膝関節屈曲角度の変化量は関連するためこのような結果になったと考えられる。そのためICにおいてstiff landingとなった場合さらに膝関節への負荷が増しACL損傷の危険度が高くなることが示唆された。河内らは片脚ジャンプ動作においてジャンプ前の体幹側屈角度の増加が着地動作の成否に影響を与える可能性があるとして報告<sup>17)</sup>しているが、本研究でもボール所持によって課題の難易度が高くなりジャンプ前の体幹側屈角度の増加した可能性があり、空中で姿勢を修正できなかったことによって膝関節屈曲角度の変化量の減少に影響した可能性が考えられる。また膝関節外反角度の変化量に有意差はみられなかったも

のボール所持することで増加傾向がみられた。Daniel らによると、視覚反応、機敏な筋肉運動、リアクションタイムなどを司る神経認知と呼ばれる脳のシステム機能が ACL 損傷リスクに影響していて、神経認知能力が低い群には膝関節外転モーメントの増加がみられたとの報告<sup>18)</sup>があり、本研究でもボールを所持することによる視覚情報の制限によって神経認知能力が低い対象者のみ ACL 損傷リスクである膝関節外反角度が増加した可能性があると考えられたが今回は認知機能については検討しておらず今後の課題としたい。

これまで多くの先行研究で、膝関節外反角度の増加が ACL 損傷リスクを高める可能性が高いことが指摘<sup>5, 8, 18)</sup>されており、Urabe らはサイドカッティング時の動作解析で、非利き脚では利き脚に比べて膝外反角度は 2 度大きく ACL 損傷のリスクを高める可能性がある<sup>19)</sup>と述べている。本研究でも、TOL が TL より膝関節外反角度が大きい傾向がみられ、特に side, ballside で有意な差が認められたため ACL 損傷リスクは TL より TOL が大きい可能性が考えられる。このことは今後 ACL 損傷の予防もしくは予防プログラムを考えるうえで考慮すべきことと思われる。

本研究の限界としてまず性差の影響を考慮していないことがあげられる。女性は男性と比較して損傷リスクが高いとされているため本研究では女性のみを対象としたが、キネマティクスを通して性差での比較をすることは今後の検討項目と考えられる。本来であれば回転方向の影響をみるために両方向の回転時の検討もおこなうべきと思われるが、今回はバスケットボールの動作を前提に検討したためおこなっていない。したがって本研究における結果が回転の方向または TL と TOL の違いのいずれの影響が大きいのかは不明であるため、この点に関しては今後の検討課題である。またバスケットボールのリバウンド動作に関する先行研究が少ないため、スタート位置から踏み切り位置までの距離、踏み切り位置からフォースプレートまでの距離、ボールの高さの至適距離などを一律の条件設定としなかったこと、対象者間のジャンプの高さの違いを考慮していないことも挙げられる。バスケットボールの試合ではリバウンド動作中に競り合いがあり接触が少なからずあること、着地後にすぐに次の動きに移ることが考えられ、今後さらに実際の動きに近い課題動作での

下肢キネマティクスの分析が必要といえる。

## 結 語

女子バスケットボール選手のリバウンド動作における下肢キネマティクスについて検討した。初期接地時で非踏切り脚ではボール保持の有無にかかわらず水平回転動作を伴う動作で stiff landing に近く、膝関節外反角度は有意に大きかった。また初期接地後 40ms までの角度変化量は水平回転を伴う動作で踏切り脚と比較して非踏切り脚で膝関節屈曲角度が有意に増加していた。

## 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) Kim S, Bosque J, Meehan JP, et al. Increase in outpatient knee arthroscopy in the United States: a comparison of National Surveys of Ambulatory Surgery, 1996 and 2006. *J Bone Joint Surg.* 2011; 93: 994-1000.
- 2) Takahashi S, Okuwaki T. Epidemiological survey of anterior cruciate ligament injury in Japanese junior high school and high school athletes: cross-sectional study. *Res Sports Med.* 2017; 25: 266-276.
- 3) Granan LP, Forssblad M, Lind M, et al. The Scandinavian ACL registries 2004-2007: baseline epidemiology. *Acta Orthop.* 2009; 80: 563-567.
- 4) Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, et al. Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *Am J Sports Med.* 2004; 32: 1002-1012.
- 5) Koga H, Nakamae A, Shima Y, et al. Mechanisms for Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injuries Knee Joint Kinematics in 10 Injury Situations From Female Team Handball and Basketball. *Am J Sports Med.* 2010; 38: 2218-2225.
- 6) Krosshaug T, Nakamae A, Boden B, et al. Mechanisms of Anterior Cruciate Ligament Injury in Basketball Video Analysis of 39 Cases. *Am J Sports Med.* 2007; 35: 359-367.
- 7) Hewett E, Gregory D, Kevin R, et al. Biomechanical Measures of Neuromuscular Control and Valgus Loading of the Knee Predict Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Female Athletes. *Am J*

- Sports Med. 2005; 33: 492-501.
- 8) Lim BO, Lee YS, Kim JG, et al. Effects of sports injury prevention training on the biomechanical risk factors of anterior cruciate ligament injury in high school female basketball players. *Am J Sports Med.* 2009; 37: 1728-1734.
  - 9) 大路駿介, 相澤純也, 廣幡健二, 他. 身体の水平回転を伴う片脚ドロップジャンプ着地における垂直床反カパラメーターの特徴. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2017; 25: 360-366.
  - 10) 狩山 靖, 藤井宏明, 森 健一, 他. 片脚および両脚リバウンドジャンプにおける3次元的な力発揮特性の相違. *体育学研究.* 2013; 58: 91-109.
  - 11) Shimokochi Y, Ambegaonkar JP, Meyer EG, et al. Changing sagittal plane body position during single-leg landings influences the risk of non-contact anterior cruciate ligament injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013; 21: 888-897.
  - 12) Leppänen M, Pasanen K, Kujala UM, et al. Stiff landings are associated with increased ACL injury risk in young female basketball and floorball players. *Am J Sports Med.* 2017; 45: 386-393.
  - 13) Self P, Paine D. Ankle biomechanics during four landing techniques. *Med Sci Sports Exerc.* 2011; 33: 1338-1344.
  - 14) 横山寛子, 尾田 敦, 牧野美里, 他. Drop vertical jumpにおける膝関節外反モーメントと股関節・膝関節運動, 下肢アライメントとの関係. *理学療法学.* 2017; 44: 1246.
  - 15) Dempsey AR, Elliott BC, Munro BJ, et al. Whole body kinematics and knee moments that occur during an overhead catch and landing task in sport. *Clin Biomech.* 2012; 27: 466-474.
  - 16) Huston LJ, Greenfield ML, Wojtys EM. Anterior cruciate ligament injuries in the female athlete: potential risk factors. *Clin Orthop Res.* 2000; 372: 50-63.
  - 17) 河内淳介, 浅川大地, 佐々木沙織, 他. 予測条件の違いが片脚ジャンプ動作に与える影響. *理学療法学.* 2015; 42: 1013.
  - 18) Daniel C Herman, Jeffrey T Barth. Drop-jump landing varies with baseline neurocognition: implications for anterior cruciate ligament injury risk and prevention. *Am J Sports Med.* 2016; 44: 2347-2353.
  - 19) Urabe Y, Iwata S, Moriyama N, et al. Does laterality exist during sidestep cutting? *Physiotherapy.* 2015; 101: e1558-e1559.

---

(受付：2020年6月8日, 受理：2021年1月27日)

## Kinematics of the lower limb joint during rebound of female basketball players

Seto, H. \*, Shinozuka, N. \*, Izumi, S. \*, Hirano, Y. \*

\* Faculty of Sports and Health Studies, Hosei University

**Key words:** anterior cruciate ligament injury, basketball, rebounding

**[Abstract]** Anterior cruciate ligament injuries often occur in women's basketball. The present study was aimed to analyze the joint kinematics of the lower limb during rebound with horizontal rotation and ball possession, which are similar to actual movements. Five college female basketball players without any sports injuries participated in four trials consisting of simple front landing, front landing with ball catching, side landing with horizontal rotation, and side landing with ball catching and horizontal rotation. Using 3-dimensional analysis, the hip and knee flexion angles and knee valgus angle were calculated both in the takeoff and the opposite leg, at two time points: initial ground contact and 40 milliseconds later. With horizontal rotation, the mean knee flexion angle was significantly smaller and the knee valgus angle was significantly larger in the opposite than the takeoff leg at initial ground contact, with or without ball catching. With horizontal rotation, the mean knee flexion angle variation from the initial ground contact to 40 milliseconds later was significantly larger in the opposite than the takeoff leg, with or without ball catching.

This suggested that noncontact anterior cruciate ligament damage may be increased in the opposite leg.