

体幹傾斜角度が大学バスケットボール選手の減速動作中の矢状面下肢キネマティクスに及ぼす影響とその男女差

The effect of trunk tilting angle and gender difference on the sagittal kinematics of the lower extremity during deceleration tasks among college basketball players

青木章乃*, 蒲田和芳*

キー・ワード：anterior cruciate ligament injury, deceleration, trunk and lower extremity kinematics
膝前十字靭帯損傷, 減速動作, 体幹・下肢キネマティクス

【要旨】 【目的】本研究では, 男女バスケットボール選手における減速動作中の体幹前方傾斜角が矢状面下肢キネマティクスに及ぼす影響と男女差を明らかにすることを目的とした。【方法】対象を, 大学バスケットボール選手男女各9名とした。動作課題は, 体幹前傾位のストップジャンプ(SJ_F), 体幹後傾位のストップジャンプ(SJ_B), ストップバック(SB)の3動作とした。減速動作を2次元ビデオカメラにて30Hzで前方・側方から撮影し, 画像解析ソフトで解析した。算出項目をストップ脚の初期接地(IC), 初期接地から30ms後(IC30), 初期接地から60ms後(IC60), 最大膝屈曲時(MKF)の体幹前方傾斜角, 膝関節屈曲角, 大転子高とした。【結果】いずれの時点においても, 体幹傾斜角はSJ_Fと比較してSJ_B, SBで有意に低値であった。ICの体幹前方傾斜角はSJ_Fの10.1°と比較して, SJ_Bの-2.9°, SBの-0.6°で有意に低値であった($p = 0.001$)。MKFの膝屈曲角度が, SJ_Fの91.4°とSJ_Bの87.7°と比較してSBの63.2°で有意に低値であった($p < 0.001$)。男女差はSJ_FのICとSJ_FとSBのMKFの体幹前方傾斜角のみに認められた。【結論】本研究より体幹前方傾斜角の違いが接地直後の膝関節屈曲角に影響しないこと, 接地直後の膝関節屈曲角に男女差がないことが示された。

はじめに

前十字靭帯(anterior cruciate ligament: ACL)損傷はスポーツ外傷の中で頻発する外傷であり, アメリカでは年間に約250,000件発生すると推定された¹⁾。ACL損傷は男性と比較して女性で3~4倍多い²⁾。ACL損傷は一度受傷すると長期間の競技離脱と多大な経済的損失が強いられるため, その予防が重視されている。効率的かつ効果的なACL損傷予防プログラムを実施するためには, 受傷リスクの高い対象者を適切に抽出するような, 損傷しやすい動作別のスクリーニング法が必要で

ある。ACL損傷の危険因子を抽出するためのスクリーニング研究の大部分では着地動作が用いられてきた³⁾。一方, ACL損傷は減速, 方向転換, 後方重心となる動作で生じることが示されている^{4,5)}。減速動作とは走行中の水平方向の移動速度を低下させる動作であり, 減速中には負の加速度が身体重心に生じる。移動速度を急激に低下させるには, 足で地面を前方に押す力が必要とされ, 下肢に対する床反力の増大は免れない。Bodenら⁴⁾は, 集めたACL損傷受傷場面のビデオのうち, バスケットボール選手の受傷が48%を占めており, 減速動作における受傷が非接触型損傷全体の62%を占めていたことを明らかにした。さらに, この論文には減速動作で受傷した全対象者のうち, 女性が

* 広島国際大学医療・福祉科学研究科医療工学専攻

77.8% を占めていたことも記載された⁴⁾。したがって、女子バスケットボール選手の ACL 損傷の危険因子を明らかにするためには、下肢への力学的ストレスの増大を伴う減速動作を用いたスクリーニング法の確立が必要である。

スクリーニング動作課題は、実際の損傷場面における膝関節の挙動を再現できることが望ましい。着地やカッティング（方向転換）を含めた実際の損傷場面の 2 次元ビデオ分析による分析結果によると、受傷時の膝屈曲角は 15-30⁶⁾、23⁷⁾など、25° 未満の浅屈曲位であることが明らかにされた。しかしながら、落下垂直ジャンプ動作（drop vertical jump : DVJ）における接地時の膝屈曲角は 30.3° であることが明らかにされた⁸⁾。以上より、実際の損傷場面と既存の実験室でのスクリーニング動作課題との間で、膝関節屈曲角度が乖離している。加えて、減速動作において膝浅屈曲位での接地を誘導するスクリーニング法は提唱されておらず、その男女差も未解明である。そこで、本研究では、大学男女バスケットボール選手における減速動作中の体幹前方傾斜角と矢状面下肢キネマティクスとの関係を明らかにすることを目的とした。

減速動作における ACL 損傷のメカニズムは未解明であり、その危険因子は十分に解明されていない。減速動作中の体幹傾斜角は、膝関節を含めて下肢キネマティクスに影響を及ぼすことが考えられている。受傷場面の 2 次元ビデオ分析によると、女性損傷者で体幹前方傾斜角は $1.6 \pm 9.3^\circ$ であることが明らかにされた⁹⁾。スクリーニング研究においては、体幹前方傾斜角が減少すると、着地時の膝屈曲角の減少に繋がることが明らかにされている^{10,11)}。しかし、減速動作における体幹前傾と下肢キネマティクスの関連は明らかにされていない。一方、着地動作の男女差に関して、女性で膝関節屈曲角度の減少、膝関節外転角度の増大、後方床反力の増大が示された¹²⁾。減速動作でも同様に矢状面膝関節キネマティクスに関して、男性と比較して女性で膝関節屈曲角度が低値を示す可能性がある。

本研究の仮説を、1) 減速動作における体幹前方傾斜角の減少は接地時の膝関節屈曲角度の減少を招く、2) 減速動作における接地時の膝屈曲角は男性よりも女性において低値を示す、の 2 点とした。本研究により、減速動作中の体幹傾斜角を指標と

して ACL 損傷の危険因子を持つ者を効率的に抽出することが可能となることが期待できる。

■ 対象および方法

(1) 対象

本研究は、広島国際大学「人を対象とする医学系研究倫理委員会」の承認を受けた後に開始された(承認番号：倫 15-076)。全対象者の人権保護に関するガイドラインを遵守し、リスク・不利益に対する説明を行い、全対象者から同意を得た。大学バスケットボール部に所属する男女を対象にリクルートを行った。研究デザインは、同一の対象者において ACL 損傷の危険因子スクリーニングに最適な動作方法を明らかにするため、横断研究を用いた。

包含基準を (1) バスケットボール部に所属する者、(2) 18-30 歳の男女とした。除外基準を (1) ACL 損傷の既往がある者、(2) 6 か月以内に下肢の手術を行った者、(3) 現在下肢・体幹に痛みを持つ者、(4) 研究の理解に問題がある者、(5) 妊娠の可能性がある者とした。サンプル数は 18 人であり、男性 9 名、女性 9 名であった。

(2) 方法

① プロトコル

測定の実施にあたり、最初に 10 分間のストレッチとウォーミングアップを行った。反射マーカーを両側の肩峰、上前腸骨棘、大転子、膝蓋骨中央、膝関節外側裂隙、足関節内果と足関節外果の中央、足関節外果に貼付した。なお、上前腸骨棘、大転子の反射マーカーを衣服の上に貼付した。家庭用ビデオカメラを用いて矢状面・前額面から撮影し、3 種類の減速動作中の膝関節及び体幹の 2 次元キネマティクスを分析した。

② 動作課題

助走として、3m の助走区間を最大努力で走らせた(図 1)。助走後に、床上に貼付されたテープの上でストップ足を接地させ、①体幹前傾を意識したストップジャンプ (Stop jump with forward trunk tilting : SJ_F)、②体幹後傾を意識したストップジャンプ (Stop jump with backward trunk tilting : SJ_B)、③ストップバック (Stop back : SB) の 3 動作を無作為の順序で行わせた。SJ_F と SJ_B は、2 歩で減速したのち、両脚で踏み切り上方へ跳躍することを指示した。接地時に無意識下で体幹後傾を促すことを意図した SB では、片

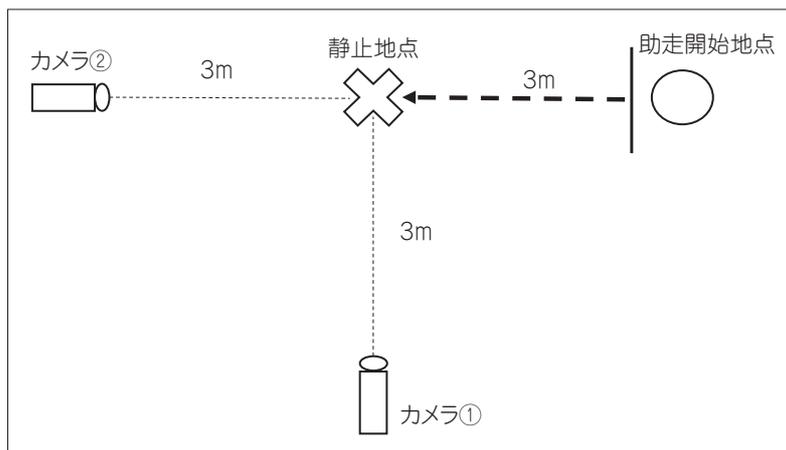


図1 助走区間とカメラの設置
 助走は、3mの区間を設けて、ストップ足の静止地点を×印で示した。2台のビデオカメラ（カメラ①、②）を用いて、設置場所からそれぞれ3mの距離にカメラを設置し、前額面および矢状面の撮影を行った。

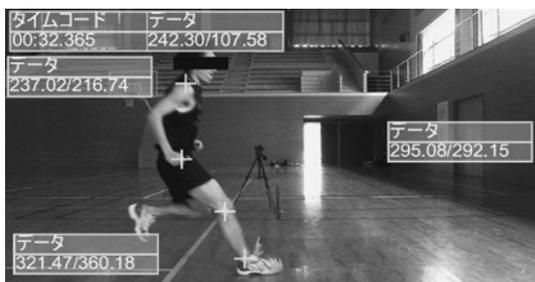


図2 Dartfishにおける座標算出
 ストップ足の接地時から0ms後（IC0）、30ms後（IC30）、60ms後（IC60）、最大膝屈曲時（MKF）の各時点における各マーカーの座標をDartfish上で求めた。

脚でストップしたのち、後方へ一歩できるだけ大きく反対側を踏み出すことを指示した。

カメラの撮影中心を外れないようにするため、床上に貼付された印の上に分析対象の下肢が接地するように、それぞれ練習を3回ずつ行ったのち、3回の本番測定を行った。切り返しの瞬間には床を見ないように前方の壁の印を見ること、それぞれジャンプは最大努力とすること、切り返し時にできる限り体は正面を向いたまま切り返すこと、できる限り速く切り返すことを指示した。疲労を考慮し、課題間に2分間の休憩を入れた。

③測定項目

側面に設置したカメラの映像より、膝関節屈曲角度、体幹前方傾斜角、大転子高を求めた。

④測定方法

撮影は、2台のビデオカメラ（Casio EX-FH25、

CASIO COMPUTER Co., LTD）を用いて、前額面、矢状面から撮影した（図1）。ACL損傷は接地後約40msで受傷する⁷⁾ことに基づき、サンプリング周波数を30Hzとした。

⑤分析

ビデオ映像上、指定の位置で骨盤の前方移動が止まった瞬間に進行方向に位置していた脚を「ストップ足」と定義した。ストップ脚の足底が床に接地した瞬間を初期接地（initial contact：IC）とした。初期接地から30ms後をIC30、60ms後をIC60、最大膝関節屈曲時をMKF（maximal knee flexion）と表記した。それぞれの時点における画像から膝関節屈曲角、体幹前方傾斜角を求めた（図2）。

画像解析ソフトDartfish（Dartfish Co., Inc.）でそれぞれのマーカーの座標を求めた。2つのベクトルの内積を求めた上で、三角関数を用いて2つのベクトルのなす角として関節角度を求めた。膝関節屈曲角として、大転子と膝関節外側裂隙に設置したマーカーを結ぶ線分と、外果と膝関節外側裂隙に設置したマーカーを結ぶ線分がなす角度を求めた。体幹前方傾斜角は、床に対して肩峰と大転子を結んだ線が為す角度とした。大転子高は、大転子に貼付したマーカーから床に下ろした垂線の長さにより求めた。なお、身長で正規化するため、身長に対する大転子高を%で表記した。

(3) 統計解析

使用ソフトウェアはMicrosoft Excel 2013, SPSS ver.11（IBM社製）であった。正規性はShapiro-Wilk検定にて確認し、正規性が認められ

表 1 対象者の基本情報

| | 女性 | 男性 |
|--------------------------|--------------------|-------------------|
| 年齢 (歳) | 19.3 [18.67, 20.0] | 19.1 [18.1, 20.1] |
| 身長 (m) | 1.61 [1.56, 1.65] | 1.7 [1.66, 1.73] |
| 体重 (kg) | 55.9 [52.8, 59.0] | 60.3 [58.2, 62.5] |
| BMI (kg/m ²) | 21.8 [20.9, 22.7] | 21.0 [20.0, 22.0] |

平均値 [95% 信頼区間]

表 2 各動作のストップ脚の初期接地から膝最大屈曲までの体幹前方傾斜角 (°) の動作課題間, 男女間比較

| | | 女性 | 男性 | 男女間比較 (p 値) | 動作間比較 (p 値) |
|------|------|--------------------|--------------------|-------------|-------------|
| IC | SJ_F | 4.3 [-1.2, 9.9] | 15.9 [8.1, 23.6] | 0.013* | <0.001* |
| | SJ_B | -2.5 [-8.2, 3.2] | -3.2 [-8.7, 2.2] | 0.831 | 0.001* |
| | SB | -3 [-9.2, 3.2] | 1.7 [-3.0, 6.5] | 0.182 | 0.699 |
| IC30 | SJ_F | 6.3 [0.7, 11.8] | 13.9 [7.1, 20.7] | - | <0.001* |
| | SJ_B | -2.1 [-8.4, 4.2] | -1.1 [-6.3, 4.0] | - | <0.001* |
| | SB | -2.5 [-9.2, 4.1] | 2.3 [-2.6, 7.2] | - | 0.843 |
| IC60 | SJ_F | 10.3 [4.5, 16.2] | 17.7 [10.8, 24.5] | - | <0.001* |
| | SJ_B | -1.2 [-7.8, 5.3] | 1.3 [-4.1, 6.7] | - | <0.001* |
| | SB | -2.1 [-8.5, 4.3] | 3.9 [-1.0, 8.9] | - | 0.943 |
| MKF | SJ_F | 17.3 [12.8, 21.9] | 25.9 [16.3, 35.4] | 0.082 | <0.001* |
| | SJ_B | -2.3 [-7.2, 2.6] | 5.6 [0.4, 10.7] | 0.021 | 0.003* |
| | SB | 1.2 [-3.0, 5.4] | 17.9 [9.1, 26.7] | 0.001* | 0.061 |

平均値 [95% 信頼区間]

SJ_F: 体幹前傾位のストップジャンプ

SJ_B: 体幹後傾位のストップジャンプ

SB: ストップバック

動作間比較 (p 値): 上から順に SJ_F と SJ_B 間, SJ_F と SB 間, SJ_B と SB 間の結果

*: 有意差あり (男女間比較は Bonferroni 補正により有意水準を $\alpha=0.016$)

-: 二元配置分散分析にて $p>0.05$ により事後検定実施せず

IC: ストップ脚の初期接地

IC30: ストップ脚の初期接地から 30ms 後

IC60: ストップ脚の初期接地から 60ms 後

MKF: 膝関節最大屈曲時

ため、代表値およびばらつきを示す指標として平均値と 95% 信頼区間 (confidence interval: CI) を用いた。反復測定 2 元配置分散分析を用いて、各算出項目の IC, IC30, IC60, MKF において課題間, 男女間で膝関節屈曲角, 体幹前方傾斜角, 大転子高に有意差があるかどうかを検証した。事後検定では Tukey 法で課題間比較を行い、また Bonferroni 補正を用いた t 検定にて男女間比較を行った。有意水準を $\alpha=0.05$ とした。

結果

本研究の対象者の基本情報を表 1 に示す。年齢と BMI に男女差は認められず、身長と体重の値は男性において高値であった。

本研究の結果、膝関節屈曲角は、IC において全ての動作で 25° 以下の浅屈曲位での接地であった。特に SB にて、IC から IC60 までの屈曲角度変

化が小さく、IC30 の時点で膝関節屈曲角度 30° に達しないものが 15/18 名であった。反復測定 2 元配置分散分析の結果、交互作用は MKF の膝関節屈曲角 ($p=0.013$)、MKF の大転子高のみ ($p=0.029$) で認められた。課題による主効果は MKF の膝関節屈曲角 ($p<0.001$)、IC~MKF の全ての時点における体幹前方傾斜角 (IC のみ $p=0.001$ 、ほか $p<0.001$)、MKF の大転子高 ($p=0.002$) で認められた。男女による主効果は、IC0 ($p=0.031$) と MKF ($p=0.004$) の体幹前方傾斜角のみで認められた。

体幹前方傾斜角の IC, IC30, IC60, MKF における動作間で事後検定を行った。男女を合わせた課題間比較の事後検定の結果、IC の体幹前方傾斜角 (平均値 [95%CI]) は、SJ_F の 10.1 [4.9, 15.2]° と比較して、SJ_B の -2.9 [-6.4, 0.6]° が有意に低値であった ($p<0.001$)。さらに SJ_F と比較して

表3 各動作のストップ脚の初期接地から膝最大屈曲までの膝関節屈曲角 (°) の動作課題間, 男女間比較

| | | 女性 | 男性 | 男女間比較 (p 値) | 動作間比較 (p 値) |
|------|------|-------------------|-------------------|----------------|----------------|
| IC | SJ_F | 17.8 [14.9, 20.7] | 13.8 [10.8, 16.9] | - | - |
| | SJ_B | 19.6 [16.9, 22.2] | 16.8 [12.9, 20.7] | - | - |
| | SB | 17.3 [12.9, 21.6] | 14.2 [11.3, 17.1] | - | - |
| IC30 | SJ_F | 31.1 [25.0, 37.2] | 25.0 [19.2, 30.8] | - | - |
| | SJ_B | 34.1 [27.0, 41.1] | 29.8 [25.2, 34.3] | - | - |
| | SB | 27.8 [21.4, 34.3] | 24.8 [20.6, 29.0] | - | - |
| IC60 | SJ_F | 47.9 [43.6, 52.1] | 42.2 [37.9, 46.6] | - | - |
| | SJ_B | 49.4 [43.1, 55.7] | 45.6 [40.8, 50.4] | - | - |
| | SB | 43.0 [37.6, 48.3] | 45.3 [41.8, 48.8] | - | - |
| MKF | SJ_F | 92.1 [84.5, 99.7] | 90.6 [87.1, 94.1] | - | 0.561 |
| | SJ_B | 88.3 [77.6, 99.0] | 87.1 [78.5, 95.7] | - | <0.001* |
| | SB | 56.4 [53.3, 59.5] | 70.0 [60.1, 79.7] | - | <0.001* |

平均値 [95% 信頼区間]

SJ_F: 体幹前傾位のストップジャンプ

SJ_B: 体幹後傾位のストップジャンプ

SB: ストップバック

動作間比較 (p 値): 上から順に SJ_F と SJ_B 間, SJ_F と SB 間, SJ_B と SB 間の結果

*: 有意差あり (男女間比較は Bonferroni 補正により有意水準を $\alpha=0.016$)

-: 二元配置分散分析にて $p>0.05$ により事後検定実施せず

IC: ストップ脚の初期接地

IC30: ストップ脚の初期接地から 30ms 後

IC60: ストップ脚の初期接地から 60ms 後

MKF: 膝関節最大屈曲時

SB の $-0.6 [-4.3, 3.1]$ °が有意に低値であった ($p = 0.001$)。一方, 体幹傾斜角の男女間比較では, SJ_F の IC において女性 $4.3 [-1.2, 9.9]$, 男性 $15.9 [8.1, 23.6]$ ($p = 0.013$), SB の MKF において女性 $1.2 [-3.0, 5.4]$, 男性 $17.9 [9.1, 26.7]$ ($p = 0.001$) であった (表2)。

他のパラメータについて2元配置分散分析の結果, 有意差が認められたのはMKFにおける膝屈曲角と大転子高のみであった。事後検定の結果, MKFの膝関節屈曲角(平均値[95%CI])は, SJ_Fの $91.4 [87.6, 95.1]$ °とSJ_Bの $87.7 [81.6, 93.8]$ °と比較してSBの $63.2 [57.4, 68.9]$ °で有意に低値であった(それぞれ $p < 0.001, p < 0.001$) (表3)。事後検定の結果, MKFの大転子高(平均値[95%CI])では, SJ_Fの $13.6 [12.7, 14.6]$ とSJ_Bの $13.7 [12.8, 14.6]$, SJ_FとSBの $14.8 [13.7, 15.9]$, SJ_BとSB間のいずれにおいても有意な差は認められなかった($p = 0.999, 0.189, 0.206$) (表4)。膝屈曲角, 大転子高に関して, それ以外の動作, 時点において課題間, 男女間で有意差は認められなかった。

考 察

本研究の目的を, 大学男女バスケットボール選手における減速動作中の体幹前方傾斜角と矢状面

膝キネマティクスとの関係を明らかにすることとした。減速ステップの初期接地時の膝関節屈曲角は全ての動作で 25° 以下となった。SJ_FとSJ_B, SJ_FとSB動作間では体幹傾斜角度に有意な差が認められた一方, 膝関節屈曲角には有意差が認められなかった。男女間比較では, SJ_FのICとSBのMKFで体幹前方傾斜角が女性で有意に低値であった。

本研究で用いた3つの減速動作において, ストップ脚のICで膝関節屈曲 25° 以下となり, ACL損傷の危険因子の一つである膝関節浅屈曲位の肢位が再現された。屍体研究では, 膝関節屈曲角を増大させたときに外反を加えてもACL張力は大きくなかったことが明らかにされた¹³⁾。ACL損傷危険因子は複合的であるが, 浅屈曲位であることは共通の要素であり, その影響は大きいと考えられる。本研究の結果, 膝関節屈曲角はMKFのみで動作間の有意差が認められた。Blackburnら¹⁰⁾の研究では, 普段通りの着地方法と口頭指示による体幹屈曲位の着地方法が比較された。その結果, 膝関節屈曲角はICでは有意差は認められず, 膝関節最大屈曲時では指示なしで 49° , 体幹前傾増大を意識した場合で 96° と, 後者が有意に高値であった。すなわち, ICにおける膝関節屈曲角は2種類の着地方法間で有意差が認められなかつ

表4 各動作のストップ脚の初期接地から膝最大屈曲までの大転子高 (%) の動作課題間, 男女間比較

| | | 女性 | 男性 | 男女間比較 (p 値) | 動作間比較 (p 値) |
|------|------|-------------------|-------------------|----------------|----------------|
| IC | SJ_F | 28.8 [25.9, 31.8] | 26.3 [23.6, 28.9] | - | - |
| | SJ_B | 28.6 [26.2, 31.0] | 27.0 [24.7, 29.3] | - | - |
| | SB | 30.5 [27.5, 33.5] | 26.5 [23.8, 29.2] | - | - |
| IC30 | SJ_F | 27.9 [25.1, 30.6] | 25.4 [22.8, 28.1] | - | - |
| | SJ_B | 27.5 [25.1, 29.8] | 26.2 [23.9, 28.4] | - | - |
| | SB | 28.1 [24.9, 31.3] | 25.5 [22.7, 28.2] | - | - |
| IC60 | SJ_F | 26.8 [24.2, 29.4] | 24.5 [22.1, 27.0] | - | - |
| | SJ_B | 26.5 [24.3, 28.7] | 25.0 [22.9, 27.1] | - | - |
| | SB | 28.1 [25.3, 30.9] | 24.4 [22.0, 26.9] | - | - |
| MKF | SJ_F | 23.3 [20.6, 26.0] | 21.9 [19.7, 24.1] | - | 0.999 |
| | SJ_B | 23.3 [20.7, 26.1] | 21.9 [20.0, 23.8] | - | 0.189 |
| | SB | 26.7 [24.0, 29.3] | 22.4 [20.4, 24.5] | - | 0.206 |

平均値 [95% 信頼区間]

SJ_F: 体幹前傾位のストップジャンプ

SJ_B: 体幹後傾位のストップジャンプ

SB: ストップバック

動作間比較 (p 値): 上から順に SJ_F と SJ_B 間, SJ_F と SB 間, SJ_B と SB 間の結果

-: 二元配置分散分析にて $p > 0.05$ により事後検定実施せず

IC: ストップ脚の初期接地

IC30: ストップ脚の初期接地から 30ms 後

IC60: ストップ脚の初期接地から 60ms 後

MKF: 膝関節最大屈曲時

た. この結果は, 本研究の結果と一致していた. なお, Krosshaug ら⁶⁾ は, ACL 損傷が接地後 20 ms から 50ms の間で起こることを明らかにした. 以上より, 減速時の体幹前方傾斜角は ACL 損傷の危険因子として重要ではない可能性がある. その一方で, SB 動作中に IC30 までに膝関節屈曲 30° を超えなかったものが 18 名中 15 名であり, 膝関節屈曲角が十分に増加しない対象者が多かった. Koga ら⁷⁾ は, ACL 損傷受傷場面において膝が浅屈曲位であったことを明らかにした. 本研究の膝関節運動は, この先行研究と類似した膝関節運動と解釈される. 体幹後傾は身体重心の後方化を招き, 床反力の反作用線に対して平衡を保つために下肢を前方に振り出すことが求められ, 膝浅屈曲位での接地を導く可能性がある^{14,15)}. 今回用いた動作の中でも, SB は後方への切り返し動作となり, 体幹の後傾に伴い接地時の膝関節が伸展位に近くなったと考えられる. 以上より, 減速動作は ACL 損傷の危険因子の一つである膝関節浅屈曲位での動作を再現するための動作として妥当性が高い可能性が示された.

男女間のキネマティクスの比較の結果, SJ_F の IC, SB の MKF のみで, 男性と比較して女性で有意に体幹前方傾斜角が減少した. 男女間の下肢キネマティクス比較を行った先行研究では, サイドステップ, サイドジャンプ, ショトルランの切

り返し動作で最大, IC 時の膝関節屈曲角の減少が女性のみで認められた¹⁶⁾. 本研究では, 膝関節屈曲角において全ての動作の IC, MKF で有意な男女差は認められなかった. しかし, SB の MKF においては体幹前方傾斜角が減少するとともに重心を十分に下げることが出来ず, 女性は膝関節屈曲角を十分に増大させることができない傾向にあった (女性 56.4°, 男性 70.0°). Weinhandl ら¹⁷⁾ は, 女性において片足着地動作中に後方床反力が増大することを明らかにした. 後方床反力の増大は, 四頭筋により引き起こされる脛骨前方剪断力を増大し, 最終的に ACL への負荷を増大させる可能性があることが示された¹⁸⁾. 女性において, SB 動作のような後方への方向転換を伴う動作では, 体幹が後方傾斜することによって減速中の膝関節屈曲運動を十分に行えず, より脛骨前方剪断ストレスが生じ, ACL に対して負荷のかかりやすい動作となったことが推測される. 以上より, 本研究では ACL 損傷において重要な IC 付近では膝関節矢状面キネマティクスに男女差は認められなかったものの, 男女ともに 20° 未満の浅屈曲位での接地となっており, 減速動作は ACL 損傷危険因子抽出のためのスクリーニング動作として適切である可能性が示された. 今後, 膝外反や回旋運動の測定を含めて, ACL 損傷危険因子の減速動作でのスクリーニングとしての検証が必要である.

本研究で用いた2次元のビデオ分析では、動作課題は単平面動作のSBを用いており、その精度と再現性はこれまでに報告されていない。本研究と同様に、サイドジャンプやサイドカッティングを用いた先行研究では、2次元動作解析と3次元動作解析で算出した膝関節外反角度に関して、中等度の回帰関係が示された¹⁹⁾。また、DVJにおける2次元での動作解析の検者内・検者間信頼性について、ICCは0.98-1.00、標準誤差0.0-0.9°であった²⁰⁾。

本研究の限界は、撮影周波数(30Hz)が低く、初期接地に30ms未満の誤差が生じた可能性があるが、いずれの動作においてもICにて20°以下の膝屈曲角度が確認され、ACL損傷に重要な初期接地後40msも含めて分析できたと考えられる。本研究では2次元でのビデオ分析の結果のみを示した。しかし、スポーツ動作中のACLへの負荷は、前額面、水平面上の膝モーメントと、矢状面上の剪断力の複合的な運動において生じている。そのため、本研究のみでは体幹後傾を促すような減速動作がスクリーニング動作として適切であるかは結論づけられない。また、体幹傾斜角度により下肢モーメントや床反力に違いが生じることが推察されるが、それについては言及できない。一方、2次元での測定はスポーツ現場でのスクリーニング法として有用である。本研究で用いた動作は単平面での課題であり、加えて、浅屈曲域に着眼したため、回旋などの影響は小さいと考えられ、2次元で十分に耐えうる解析ができたものと推測される。今後、膝外反や回旋運動の測定を含めて、ACL損傷危険因子の減速動作でのスクリーニングとしての検証が必要である。

結 論

本研究で用いたすべての減速動作で接地時の膝関節屈曲角が20°以下になり、男女間で最大膝関節屈曲角度以外に差は認められなかった。また、IC付近では体幹傾斜角によって膝関節屈曲角度に差は認められなかった。すなわち、本研究の減速動作はいずれも男女問わず、ACL損傷の危険因子とされている膝関節浅屈曲を再現する動作であったが、体幹傾斜角は膝関節屈曲角に影響を及ぼさないことが明らかになった。本研究により、体幹前方傾斜角がACL損傷危険因子となる矢状面膝キネマティクスとの関連が明らかにされ、ス

スクリーニングや損傷予防プログラム開発の一助となる。今後、体幹傾斜角度よりもACL損傷危険因子となる下肢キネマティクスに強く影響を及ぼす要素を明らかにする必要がある。

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) Griffin LY, Agel J, Albohm MJ, et al. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. *J Am Acad Orthop Surg.* 2000; 8(3): 141-150.
- 2) Agel J, Arendt EA, Bershadsky B. Anterior cruciate ligament injury in national collegiate athletic association basketball and soccer: a 13-year review. *Am J Sports Med.* 2005; 33(4): 524-530.
- 3) Hewett TE, Myer GD, Ford KR, et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *Am J Sports Med.* 2005; 33(4): 492-501.
- 4) Boden BP, Torg JS, Knowles SB, et al. Video analysis of anterior cruciate ligament injury: abnormalities in hip and ankle kinematics. *Am J Sports Med.* 2009; 37(2): 252-259.
- 5) 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(4): 1002-1012.
- 6) Krosshaug T, Nakamae A, Boden BP, et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. *Am J Sports Med.* 2007; 35(3): 359-367.
- 7) 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(11): 2218-2225.
- 8) Cortes N, Onate J, Van Lunen B. Pivot task increases knee frontal plane loading compared with sidestep and drop-jump. *J Sports Sci.* 2011; 29(1): 83-92.
- 9) Hewett TE, Torg JS, Boden BP. Video analysis of trunk and knee motion during non-contact anterior

- cruciate ligament injury in female athletes: lateral trunk and knee abduction motion are combined components of the injury mechanism. *Br J Sports Med.* 2009; 43(6): 417-422.
- 10) Blackburn JT, Padua DA. Influence of trunk flexion on hip and knee joint kinematics during a controlled drop landing. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2008; 23(3): 313-319.
- 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(4): 888-897.
- 12) Kernozek TW, Torry MR, Hoof HV, et al. Gender differences in frontal and sagittal plane biomechanics during drop landings. *Med Sci Sports Exerc.* 2005; 37(6): 1003-1012; discussion 1013.
- 13) Utturkar GM, Iribarra LA, Taylor KA, et al. The effects of a valgus collapse knee position on in vivo ACL elongation. *Ann Biomed Eng.* 2013; 41(1): 123-130.
- 14) Shimokochi Y, Yong Lee S, Shultz SJ, et al. The relationships among sagittal-plane lower extremity moments: implications for landing strategy in anterior cruciate ligament injury prevention. *J Athl Train.* 2009; 44(1): 33-38.
- 15) Sasaki S, Nagano Y, Kaneko S, et al. The relationships between the center of mass position and the trunk, hip, and knee kinematics in the sagittal plane: a pilot study on field-based video analysis for female soccer players. *J Hum Kinet.* 2015; 45: 71-80.
- 16) McLean SG, Walker KB, van den Bogert AJ. Effect of gender on lower extremity kinematics during rapid direction changes: an integrated analysis of three sports movements. *J Sci Med Sport.* 2005; 8(4): 411-422.
- 17) Weinhandl JT, Irmischer BS, Sievert ZA. Sex differences in unilateral landing mechanics from absolute and relative heights. *Knee.* 2015; 22(4): 298-303.
- 18) DeMorat G, Weinhold P, Blackburn T, et al. Aggressive quadriceps loading can induce noncontact anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med.* 2004; 32(2): 477-483.
- 19) McLean SG, Walker K, Ford KR, et al. Evaluation of a two dimensional analysis method as a screening and evaluation tool for anterior cruciate ligament injury. *Br J Sports Med.* 2005; 39(6): 355-362.
- 20) Dingenen B, Malfait B, Vanrenterghem J, et al. The reliability and validity of the measurement of lateral trunk motion in two-dimensional video analysis during unipodal functional screening tests in elite female athletes. *Phys Ther Sport.* 2014; 15(2): 117-123.

(受付：2019年3月18日，受理：2019年10月29日)

The effect of trunk tilting angle and gender difference on the sagittal kinematics of the lower extremity during deceleration tasks among college basketball players

Aoki, A.* , Gamada, K.*

* Graduate School of Medical Technology and Health Welfare Science, Hiroshima International University

Key words: anterior cruciate ligament injury, deceleration, trunk and lower extremity kinematics

[Abstract] [Purpose] The purpose of this study was to determine the association and gender differences between trunk tilting angle and the sagittal kinematics of the lower extremity during deceleration tasks.

[Methods] Nine female and nine male subjects were recruited from the inter-collegiate basketball team. Two 2D-video cameras were used to capture three deceleration tasks consisting of (a) stop and jump with forward trunk tilting (SJ_F), (b) stop and jump with backward trunk tilting (SJ_B), (c) stop and jump backward (SB). The outcome measures were trunk anterior tilting angle, knee flexion angle, and height of the great trochanter (HGT) at initial contact (IC), 30 min and 60 min after IC (IC30, IC60), and maximum knee flexion (MKF).

[Results] The trunk anterior tilting angle was smaller during SJ_B and SB than during SJ_F at IC, IC30, IC60, and MKF. Maximum knee flexion angle was smaller during SB than SJ_F and SJ_B. Comparison of the trunk tilting angle between males and females showed a difference during SJ_F at IC and SB at IC and MKF, but not in the knee angle and HGT.

[Conclusion] It is suggested that sports-specific deceleration tasks induce a small knee flexion angle. Trunk position and gender did not affect the knee kinematics at IC.