

大学女子サッカー選手における 膝前十字靭帯損傷危険度別にみた 方向転換動作の特徴

Characteristics of cutting maneuver in female college soccer players
classified by the risk level of anterior cruciate ligament injury

馬越博久*¹, 干場拓真*², 佐保泰明*³
笹木正悟*⁴, 広瀬統一*⁵, 福林 徹*⁵

キー・ワード：ACL injury risk prediction algorithm, shuttle run, lower limb kinematics
ACL 損傷危険率予測指標, シャトルラン, 下肢キネマティクス

〔要旨〕 本研究では、膝前十字靭帯 (ACL) 損傷危険率予測指標を用いて、ACL 損傷 High-risk と特定された大学女子サッカー選手の方向転換時の動作特性を検証した。大学女子サッカー選手 35 名を対象とし、ACL 損傷危険率から ACL 損傷 High-risk 群と Low-risk 群の 2 群に分類し、10m×5 シャトルラン (SR) における切り返し時の体幹外方傾斜、股関節屈曲・外転、膝関節屈曲・外転角度について群間比較した。結果、SR において High-risk 群は、Low-risk 群に比べ ACL 損傷危険肢位とされる方向転換動作時の体幹外方傾斜、膝外転角度が有意に大きい軌跡を示した。ACL 損傷危険率予測指標は、潜在的に High-risk となる者を概ね認識することが可能であり、事前に把握することは効果的な ACL 損傷予防対策を確立する一助となると考える。

緒 言

膝前十字靭帯 (Anterior Cruciate Ligament : 以下 ACL) 損傷は、代表的なスポーツ傷害の 1 つであり、その約 70% が非接触型損傷である^{1,2)}。また、男性の 4~6 倍という高い受傷率で女性に好発していることが示されている^{1,3~5)}。種目別でみると、サッカーやバスケットボールなどの方向転換動作や着地時に多発していることから^{2,6)}、ACL 損傷には身体的特徴及び運動特性が関与していると考えられている。特に女子サッカーにおいては ACL 損傷の受傷率が他の競技に比べ高く^{2,6)}、その予防対策の確立に向けた ACL 損傷の受傷機序の解明

が急がれている。サッカーにおける ACL 損傷の受傷場面は他のフィールドスポーツ競技と同様に非接触型が多いが、着地よりも脚でボールを扱いはがらの減速・方向転換動作時に多発している傾向がある^{1,6,7)}。したがって、サッカーにおける ACL 損傷の受傷機序を理解するためには、サッカー特有の減速・方向転換動作を運動学的に分析する必要があると考える。

これまで、ACL 損傷の受傷肢位は質問紙やビデオ調査を用いた分析によって、膝外反位であることが明らかにされている^{8~10)}。Koga ら¹¹⁾は、model-based image-matching technique を用いた解析によって、接地後約 40ms 付近で急激な膝外反と内旋が生じ ACL 損傷に至ることを定量的に説明した。また Hewett ら⁶⁾は、着地時における膝関節の外転方向への大きなモーメントが ACL 損傷の危険因子であると結論づけた。荷重下では膝外反角度が増大すると、大腿骨が脛骨外側関節面を前方

*1 八王子スポーツ整形外科リハビリテーションセンター

*2 早稲田大学大学院スポーツ科学研究科

*3 帝京大学医療技術学部

*4 東京有明医療大学保健医療学部

*5 早稲田大学スポーツ科学学術院

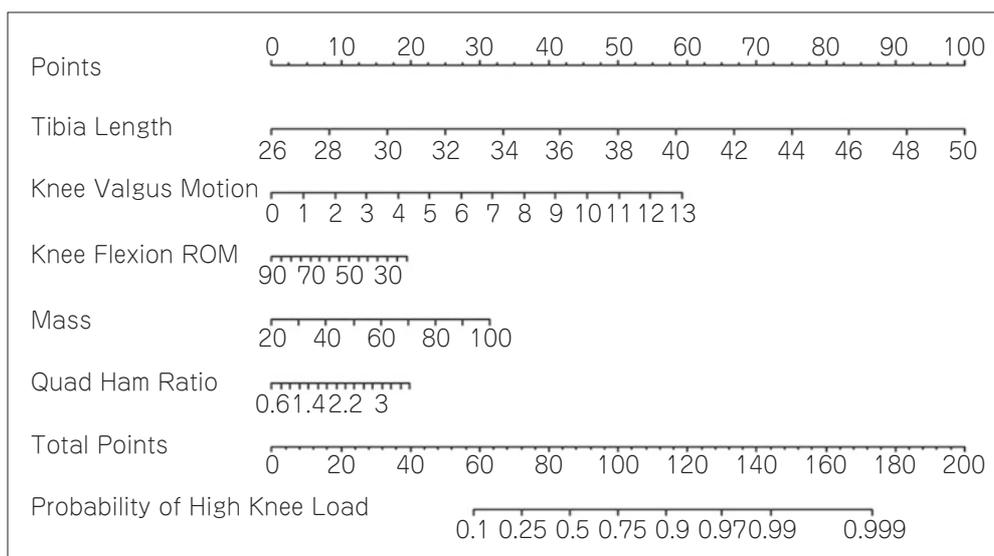


図1 ACL 損傷危険率予測指標 (文献19より引用)
 脛骨長 (cm), 膝内側変位量 (cm), 膝屈曲角度変位量 (°), 体重 (kg), QH 比より ACL 損傷危険率 (高い膝外転モーメント: >21.74 Nm) を予測する。

へ押し出す力が生じ、脛骨の内旋強制による ACL への張力や歪みが増大する¹²⁻¹⁴⁾。つまり、ACL 損傷の受傷機序を運動学的に解明するためには、膝外反角度および膝外転モーメントが重要な要因として挙げられる。ただし、これまでの実験室環境下における方向転換動作を課題動作とした研究では、接地直後に起こる膝外反角度の増大^{15,16)}や膝内反角度の増大¹⁷⁾など相反する結果が報告されており、一定の見解が得られていないのが現状である。

この主要な要因として、実験室環境下における測定では動作 (特にスピード) に制約が加わる場合が多く、競技動作本来の運動学的特徴を定量的に評価できていないこと、さらに対象者の身体的及び運動学的特徴を考慮していないことが挙げられる。これまでの報告より、大きな膝外反角度および膝外転モーメントは、ACL 損傷のリスクを高める運動学的危険因子として認識されている¹⁸⁾。つまり、対象者の中には潜在的に High-risk (ACL 損傷のリスクが高い) と Low-risk (ACL 損傷のリスクが低い) となる運動学的特徴を有する者が混在していると考えられ、ACL 損傷の受傷機序解明の妨げとなっている可能性がある。

近年では、Myer ら^{19,20)}が家庭用ビデオカメラを用いた 2 次元計測による Drop Vertical Jump (以下 DVJ) 時の運動学的解析 (膝内側変位量, 膝屈曲角度変位量) および身体的特徴 (脛骨長, 体重),

筋力 (Quadriceps/Hamstrings: 以下 QH 比) の結果を総合的に評価し、数値化することによって ACL 損傷の危険因子とされる高い膝外転モーメント (>21.74Nm) を約 8 割予測できる ACL 損傷危険率予測指標を開発した (図 1)。この指標は、高い膝外転モーメントの抽出において感度が 77%、特異度が 71% と報告されており²¹⁾、スポーツ現場への応用が非常に簡易的で有用性の高い予測指標と言える。

そこで本研究の目的は、1) 大学女子サッカー選手を対象に方向転換動作時の体幹および下肢キネマティクスと ACL 損傷危険率との関連性を検討すること、2) ACL 損傷危険率予測指標を用いて ACL 損傷 High-risk と予測された選手の方向転換動作時の体幹および下肢キネマティクスの特徴を通常のトレーニング環境下において明らかにすることとし、女子サッカーにおける ACL 損傷の運動学的危険因子を理解するための有益な情報を提示したい。

■ 対象および方法

1. 対象

関東大学女子サッカーリーグ 1 部に所属する女子サッカー選手 35 名 (年齢: 19.3 ± 1.4 歳, 身長: 159.1 ± 4.1cm, 体重: 55.1 ± 6.6kg, 競技歴: 10.8 ± 3.5 年) を対象とし、Myer ら¹⁹⁾が報告する ACL 損傷危険率予測指標を用いて probability of high

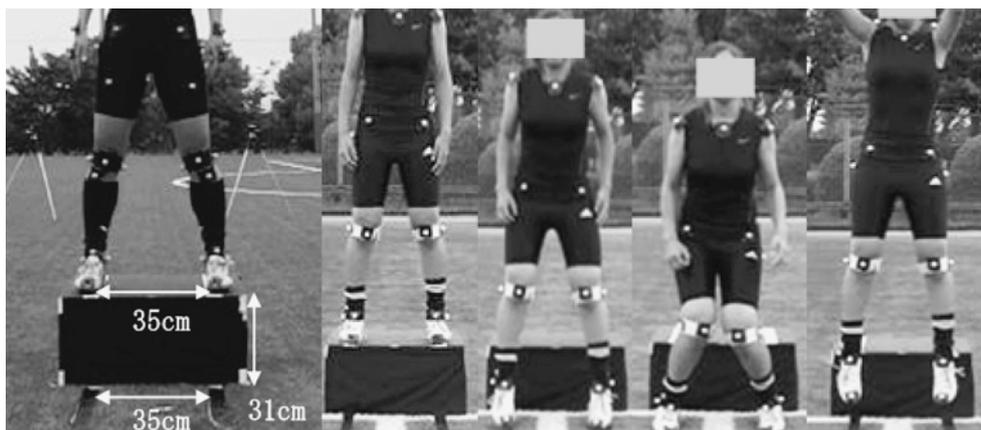


図2 Drop vertical jump

knee load (ACL 損傷危険率) を算出し、その平均値から 1 SD 以上を ACL 損傷 High-risk 群 (ACL 損傷危険率 \geq 70%) 12 名 (年齢: 19.7 ± 1.2 歳, 身長: 161.4 ± 5.5 cm, 体重: 54.5 ± 5.1 kg, 競技歴: 10.4 ± 2.3 年), 平均値より 1SD 以下を Low-risk 群 (ACL 損傷危険率 $<$ 45%) 11 名 (年齢: 19.7 ± 1.4 歳, 身長: 158.6 ± 5.5 cm, 体重: 54.1 ± 5.2 kg, 競技歴: 10.3 ± 3.8 年) に分類した。選定条件は過去半年以内に下肢傷害の既往がない選手とした。対象者には事前に研究の目的, 方法, 倫理的配慮等に関する説明を十分に行い, 文書にて参加の同意を得られた者を対象とした。また, 本研究は早稲田大学人を対象とする研究に関する倫理審査委員会の承認を得て実施した。

2. 測定方法

a. Drop Vertical Jump (以下 DVJ) (図 2)

ACL 損傷危険率の算出にあたり, DVJ 測定¹⁹⁾を行った。対象者には, はじめに高さ 31cm の台の上に 35cm 幅の線を引いて, その線に足を合わせ立つことを指示した。その後, 任意のタイミングにて台から跳び降り, 地面に着地後すぐにバスケットボールをリバウンドするように最大に垂直ジャンプを行わせた。

DVJ 測定には, 3 台のハイスピードカメラ (EX-FH20, CASIO 社) を用いて, 前額面・矢状面の 3 方向からの撮影を行った (サンプリング周波数: 210Hz)。カメラは台に引いた足幅 35cm の中心から台の前方 30cm の地点より前方 4m および左右 4m, 地上高 80cm の場所に設置した。また, 全てのカメラの三脚に水平計を装着し, 設置後, 動作を水平に撮影できるようにカメラの位置調整を行った。2 次元動作計測に際し, 対象者には, 大腿骨大

転子 (右・左), 膝蓋骨中央 (右・左), 膝関節外側裂隙 (右・左), 腓骨外果 (右・左) の計 8 カ所にマーカーを貼付した。計測は事前練習より動作課題を習熟させた後に行った。両足着地から垂直ジャンプを行った試技を成功試技とし, 成功試技 3 回の平均値を個人の値とした。

b. 10m×5 Shuttle Run (以下 SR) (図 3)

方向転換動作課題には, JFA フィジカルフィットネスグループが提唱する SR を用いた²²⁾。試技のはじめに静止試技として, 安静立位姿勢の計測を行った。その後, 立位でスタートラインに立ち, 選手の任意のタイミングにて走行後, スタートラインより 10m 先に引いたラインを切り返し足で踏んだ (もしくは越えた) 後, 進行方向に対して 180° の切り返しを行い, スタートラインに戻り再び 180° の切り返しを行う動作を合計 2 往復半行わせた。最初の切り返しを右脚, 次の切り返しを左脚にて行わせ, 常に体を同一方向に向けた状態で切り返しを行うように指示した。

SR 測定には 4 台のハイスピードカメラ (EX-F1, CASIO 社) を用いた (サンプリング周波数: 300Hz)。カメラは対象者の切り返し場所より 10.5 m, 地上高 80cm の位置に設置し, DVJ 同様に水平計を用いてカメラの位置調整を行った。撮影には, 同期センサーを用いて 4 台のカメラを同期させた。また 3 次元動作計測に際し, キャリブレーションを行った。キャリブレーションの範囲は 2m×2m とし, 1m 間隔で 9 カ所, 高さは 50cm 間隔で 5 カ所 (0cm, 50cm, 100cm, 150cm, 200cm) の合計 45 カ所とした。3 次元座標値の算出のため, 対象者には肩峰 (右・左), 胸骨上縁, 仙骨, 上前腸骨棘 (右・左), 大腿骨大転子 (右・左), 膝蓋骨

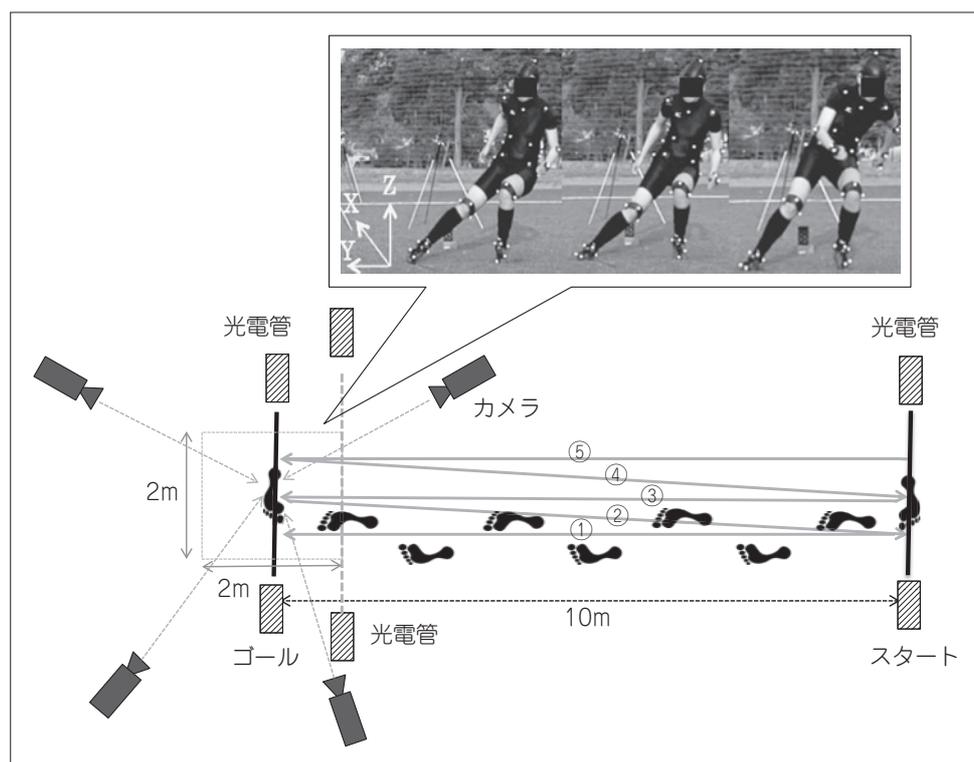


図3 10m×5 shuttle run

中央（右・左），膝関節外側裂隙（右・左），膝関節側内側裂隙（右・左），腓骨外果（右・左），脛骨内果（右・左），踵骨（右・左），第2・3中足骨頭中央（右・左）の計22カ所にマーカーを貼付した。また，光電管（SPEED TRAP, BROWER社）を用いてスタートから最初の切り返しまでの進入時間（スタート地点より8.5m地点）およびSRの合計時間を記録した。計測は事前練習より動作課題を習熟させた後，JFAフィジカル測定の規定に準じて2回実施した。進入時間および合計時間は速い方を採用し，キネマティクスの値は最初の切り返し動作を解析対象とし，2回の平均値を個人の値とした。すべての測定はスパイクを着用後，サッカーの競技場所である人工芝にて実施した。

3. データ解析

本研究では右脚（利き足）を解析対象とした。

a. Drop vertical jump

フリーソフトImage J（National Institute of Health, USA）を用いて膝内側変位量および膝屈曲角度変位量を計測した。膝内側変位量は，着地後の最大膝内側変位時における膝蓋骨中心のX座標（ X_2 ）から接地直前の膝蓋骨中心のX座標（ X_1 ）との差より算出した。膝屈曲角度変位量は，

大転子，膝関節外側裂隙，外果のなす角を膝屈曲角度とし，接地直前の膝屈曲角度（ Θ_1 ）から着地時の最大膝屈曲角度（ Θ_2 ）との差より算出した（図4）。

ACL損傷危険率予測指標を用いて，脛骨長，膝内側変位量，膝屈曲角度変位量，体重，QH比の値より，ACL損傷危険率を求めた。算出方法¹⁹⁾は，指標上の脛骨長，膝内側変位量，膝屈曲角度変位量，体重，QH比のそれぞれのポイントの合計値を求め，ACL損傷危険率を算出した（図5）。なお，脛骨長は膝関節外側裂隙から腓骨外果までとし，QH比は推定式（体重×0.01+1.10）¹⁹⁾を用いて算出した。

b. 10m×5 shuttle run

ハイスピードカメラで撮影した動画の出力形式をMOVからAVIに変換するために動画処理ソフト（EDIUS NEO3, Grass valley社）を用いて動画処理を行った後，動作解析ソフトFrame-DIAS V（DKH社）に取り込んだ。すべてのマーカーの座標値は，ローパスバタワースフィルタ（カットオフ周波数：15Hz）を用いてフィルタ処理を行い，その後，各々の3次元座標値（x, y, z）を算出した。算出した3次元座標値より接地前50msから接地後150msまでの時系列の体幹外方傾斜

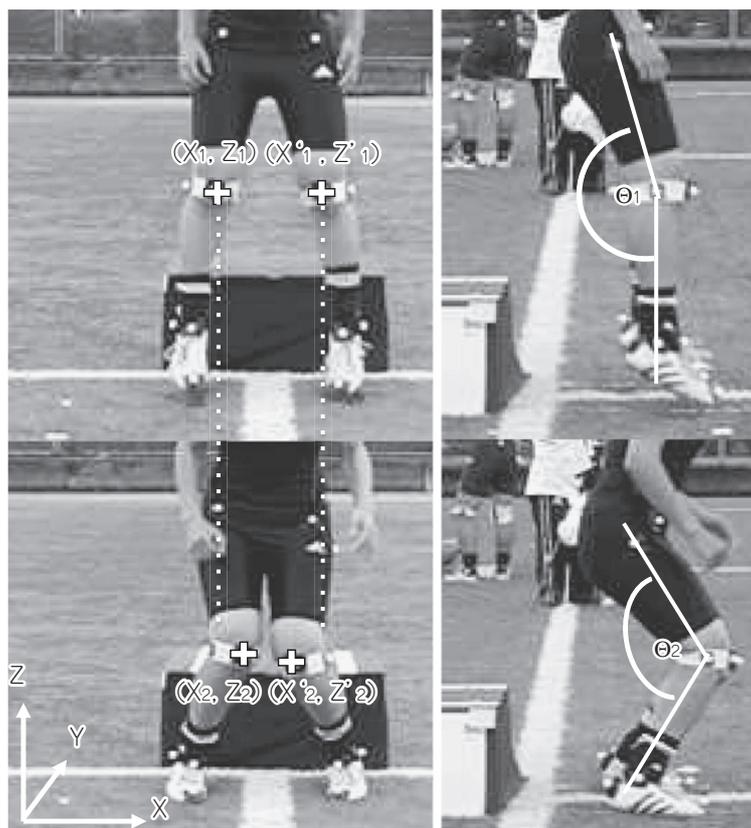


図4 膝内側変位量および膝屈曲角度変位量の算出方法(文献19より引用)
 膝内側変位量は、着地後の最大膝内側変位時における膝蓋骨中心のX座標(X_2)から接地直前の膝蓋骨中心のX座標(X_1)との差より算出した。膝屈曲角度変位量は、大転子、膝関節外側裂隙、外果のなす角を膝屈曲角度として、接地直前の膝屈曲角度(θ_1)から着地時の最大膝屈曲角度(θ_2)との差より算出した。

角度、股関節屈曲・外転角度、膝関節屈曲・外転角度を求めた。なお股関節屈曲・外転角度、膝関節屈曲・外転角度は、オイラー角の定義に基づき身体座標系からの角度(静止立位からの変位量)として算出した。体幹外方傾斜角度は、左右上前腸骨棘の midpoint から左上前腸骨棘に向かうベクトルと右上前腸骨棘の midpoint から胸骨上縁に向かうベクトルとのなす角とした。股、膝関節屈曲角度は屈曲方向を(+), 股関節、膝外転角度は外転方向を(+), 体幹外方傾斜角度は右側方傾斜を(+)として表記した。また接地の規定は、足先または踵に貼付したマーカーのZ座標が最下点になった地点とした。

4. 統計処理

ACL 損傷危険率, 膝内側変位量, 膝屈曲角度変位量とSRにおける体幹・下肢キネマティクス(最大膝外転角度, 最大膝内転角度における体幹外方傾斜, 股関節屈曲・外転, 膝関節屈曲角度)と

の関連性には Pearson の相関係数を用いた。また, High-risk 群と Low-risk 群の比較として, 身体特性である年齢・身長・体重・競技歴, SR 時の進入時間・合計時間における群間比較には対応のない t 検定を用い, SR の各関節角度における群間比較には Mann-Whitney U 検定を用いた。加えて SR の最大膝外転角度, 最大膝内転角度における体幹外方傾斜角度および SR の各関節角度における最大値のタイミング(時間)の群間比較には対応のない t 検定を用いた。統計解析には SPSS 21.0 J for Windows を用い, 各検定の有意水準は 5% 未満とした。

結果

1. ACL 損傷危険率予測指標項目と SR におけるキネマティクスとの関連性

ACL 損傷危険率, 膝内側変位量, 膝屈曲角度変位量および SR における体幹・下肢キネマティク

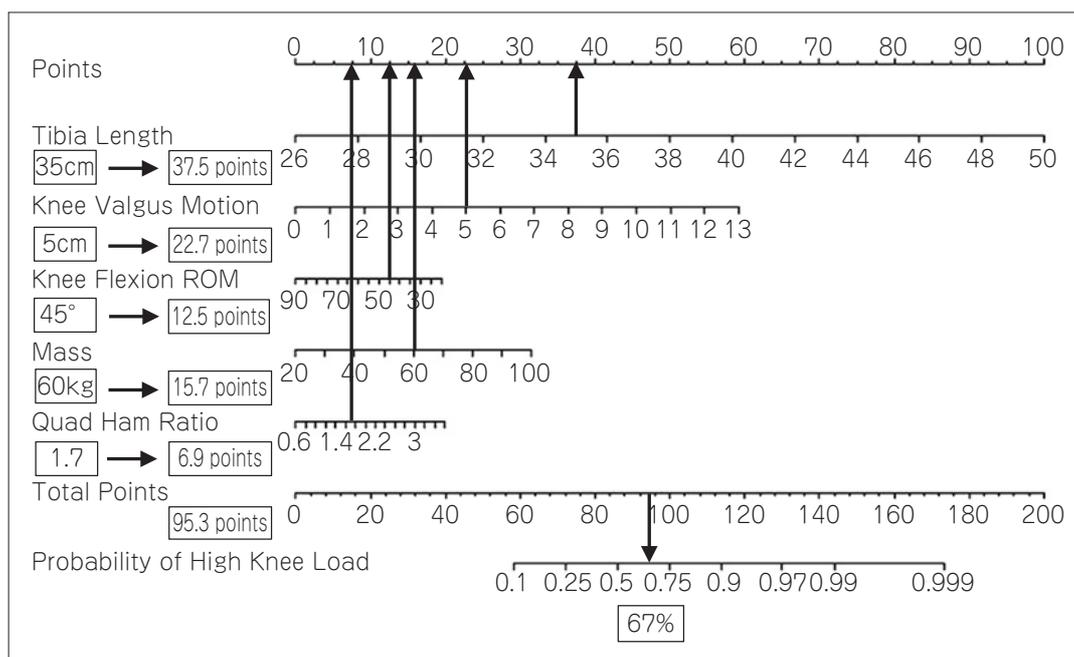


図5 ACL 損傷危険率予測指標の使用例

脛骨長 (cm), 膝内側変位量 (cm), 膝屈曲角度変位量 (°), 体重 (kg), QH 比それぞれの項目の数値から上方に垂線を引き、各項目のポイントを算出した。各項目のポイントの合計を求め、その値から下方に垂線を引き probability of high knee load (ACL 損傷危険率) を算出した。脛骨長 35cm, 膝内側変位量 5cm, 膝屈曲角度変位量 45°, 体重 60kg, QH 比 1.7 の場合、67% の確率で高い膝外転モーメントを示す。

表1 ACL 損傷危険率予測指標項目と SR における体幹・下肢キネマティクス (平均±標準偏差) (n=35)

ACL 損傷危険率予測指標			SR における体幹・下肢キネマティクス				
ACL 損傷危険率 (%)	膝内側変位量 (cm)	膝屈曲角度変位量 (°)	膝外転角度 (°)	膝屈曲角度 (°)	股屈曲角度 (°)	股外転角度 (°)	体幹外方傾斜角度 (°)
57.96 ± 25.44	5.10 ± 2.45	57.08 ± 8.20	7.42 ± 3.20	41.68 ± 8.49	45.43 ± 14.93	14.33 ± 6.66	11.96 ± 5.09

膝外転角度：最大膝外転角度
 膝屈曲角度：最大膝外転角度における膝関節屈曲角度
 股屈曲角度：最大膝外転角度における股関節屈曲角度
 股外転角度：最大膝外転角度における股関節外転角度
 体幹外方傾斜角度：最大膝外転角度における体幹外方傾斜角度

ステータを表1, 各パラメータ間の相関関係を表2に示す。ACL 損傷危険率, 膝内側変位量と SR における最大膝外転角度との間に正の相関関係が認められ (n=35, r=0.699, P<0.001; n=35, r=0.620, P<0.001), ACL 損傷危険率, 膝内側変位量と SR 時の最大膝外転角度における体幹外方傾斜角度との間においても正の相関関係が認められた (n=35, r=0.493, P<0.01; n=35, r=0.432, P<0.01)。また SR 時の最大膝外転角度と最大膝外転角度における体幹外方傾斜角度との間において正の相関がみられた (n=35, r=0.616, P<0.001)。

2. High-risk 群と Low-risk 群の比較

身体特性および SR における進入時間 (秒) (High-risk 群: 2.11 ± 0.21, Low-risk 群: 2.09 ± 0.14) および合計時間 (秒) (High-risk 群: 13.02 ± 0.31, Low-risk 群: 12.98 ± 0.42) において, 群間に統計学的有意差は認められなかった。SR における 180° 方向転換動作時の時系列平均角度変化を High-risk 群と Low-risk 群別に図6に示す。SR の接地前 50ms から 10ms ごとの膝外転角度は, High-risk 群が Low-risk 群に対して高値を示した (P<0.05, P<0.01)。特に High-risk 群は接地後

表2 ACL 損傷危険率予測指標項目とSRにおける体幹・下肢キネマティクスとの相関関係 (n=35)

ACL 損傷危険率予測指標	SR	膝外転角度 (°)	膝屈曲角度 (°)	股屈曲角度 (°)	股外転角度 (°)	体幹外方傾斜角度 (°)
ACL 損傷危険率 (%)		.699**	-.154	-.153	-.238	.493*
膝内側変位量 (cm)		.620**	-.077	-.211	-.021	.432*
膝屈曲角度変位量 (°)		-.024	.067	-.234	.201	.128

値は相関係数を示す。*P<0.01 **P<0.001

膝外転角度：最大膝外転角度

膝屈曲角度：最大膝外転角度における膝関節屈曲角度

股屈曲角度：最大膝外転角度における股関節屈曲角度

股外転角度：最大膝外転角度における股関節外転角度

体幹外方傾斜角度：最大膝外転角度における体幹外方傾斜角度

30~50msにおける膝外転角度はより高い値を示した(P<0.01)。さらに最大膝外転角度は2群とも40~50ms時に起こり、High-risk群はLow-risk群に対し有意に高い値を示した(P<0.01)(表3)。体幹外方傾斜角度においては、2群とも接地前から右側方傾斜を示しており、High-risk群は接地後30msにて最大値を示し、最大膝外転角度が生じた時期と同時期に起こっていた。一方で、Low-risk群は接地前30msにて右側方傾斜の最大を迎え、接地後40msにおいて膝外転角度が最大値を示す際には体幹外方傾斜角度が減少する軌跡を示しており、2群間において体幹外方傾斜角度の最大はLow-risk群が早期に起こっていた(P<0.001)(表3)。さらに最大膝外転角度時における体幹外方傾斜角度はLow-risk群に対しHigh-risk群が有意に高い値を示した(P<0.001)(表3)。

考 察

本研究では、大学女子サッカー選手の方向転換動作時の体幹および下肢キネマティクスとACL損傷危険率との関連性を検討した。また方向転換動作時の体幹・下肢キネマティクスをACL損傷危険度別(High-risk群とLow-risk群)に比較し、ACL損傷High-riskと予測された選手の方向転換動作時の体幹および下肢キネマティクスの特徴を検討した。

ACL損傷危険率は、SR時の最大膝外転角度と正の相関を示し、ACL損傷危険率予測指標はSRにおいてACL損傷危険度の高い選手を概ね把握できることが示唆された。先行研究において、方向転換動作における最大膝外転角度および膝外転モーメントには、進入速度および方向転換角度が

影響することが報告されている²³⁾。また180°方向転換動作は、前進運動の完全停止から逆方向への加速を要する複合運動とされ、体幹および膝の高いコントロールを要する運動とされている²⁴⁾。つまり、本来の競技場において必要とされる進入速度および動作を再現した本測定(通常のトレーニング環境下において行ったSR)は、体幹の外方傾斜や膝外転角度の増大を誘発しやすく、ACL損傷に発展する可能性の高い選手を概ね把握できる運動と考えられる。同様にACL損傷危険率予測指標も、運動学的特徴、身体的特徴、筋力の結果からACL損傷の危険度が高い選手を把握できる実用性のある指標である²¹⁾。そのため、ACL損傷危険率とSRにおける膝外転角度には高い関連性を示したと考える。対照的に膝外転角度及び膝外転モーメントにおいて、DVJとサイドステップカッティングは、運動方向を変化させる際の支持脚(両脚と片脚)及びスピードが大きく異なるため関係性はないとの報告もみられる²³⁾。しかし、先行研究では実験室環境下において行われたものであるため、進入速度が大きく制約を受けた可能性がある。加えて、本測定と異なった動作課題を行っていることから、今後は動作課題および測定環境の影響等を詳細に検討する必要がある。

High-risk群とLow-risk群のSRにおける膝外転角度の時系列変化では、両群とも接地後約40msに膝外転角度が最大となり、その後再び増大する2峰性の軌跡を示した。ただし、High-risk群はLow-risk群に比べ、膝外転角度が有意に大きい軌跡を示し、最大膝外転角度においてもHigh-risk群はLow-risk群と比較して高値を示した。興味深いことにHigh-risk群の体幹外方傾斜角度の

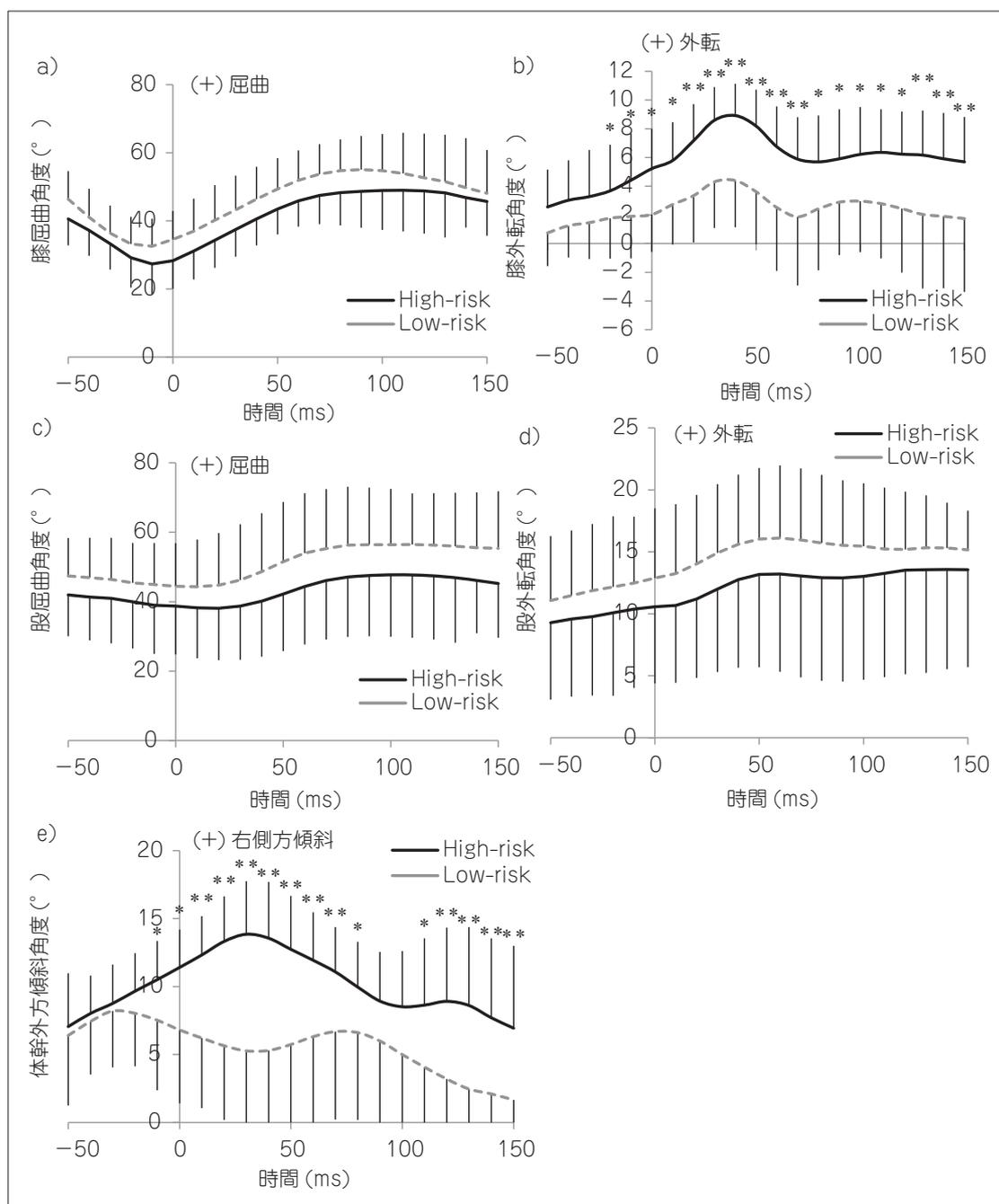


図6 SRの関節角度におけるHigh-risk群とLow-risk群の比較
 a) 膝屈曲角度, b) 膝外転角度, c) 股屈曲角度, d) 股外転角度, e) 体幹外方傾斜角度
 *P<0.05, **P<0.01

表3 SRにおける最大膝外転角度, 最大体幹外方傾斜角度, 最大体幹外方傾斜のタイミング (平均±標準偏差)

	High-risk 群 (n=12)	Low-risk 群 (n=11)	P 値
最大膝外転角度 (°)	8.92 ± 2.21	4.39 ± 3.27	<0.001
最大体幹外方傾斜角度 (°)	13.85 ± 3.89	8.20 ± 4.14	<0.001
最大体幹外方傾斜のタイミング (ms)	30.00 ± 8.52	-30.00 ± 7.75	<0.001

最大膝外転角度→ (+) : 外転

最大体幹外方傾斜角度→ (+) : 右側方傾斜

最大体幹外方傾斜のタイミング→ (+) : 足部接地後, (-) : 足部接地前

ピークは、最大膝外転角度が生じた時期と同時期に起こっていたが、対照的に Low-risk 群の体幹外方傾斜角度のピークは接地前に生じ、接地後の最大膝外転角度が小さい値を示した。Hewett ら²⁵⁾は、ACL 損傷の受傷場面をビデオ解析した結果、ACL 損傷時に膝外転と体幹の外方傾斜が生じていたことを報告し、ACL 損傷の危険因子である膝外転角度の増大には体幹の外方傾斜が関与している可能性を指摘している。またサイドステップカッティング動作時における膝外転モーメントの増大には体幹外方傾斜の増大が関連していると報告されている^{26,27)}。これらより、High-risk 群にみられた SR の膝外転角度の増大は、体幹外方傾斜角度のピークが接地後に生じていたことが要因と考える。対照的に Low-risk 群では、接地前に体幹の外方傾斜が制動されていたことから、接地後の膝外転角度の増大が引き起こされなかったと推察する。本結果より High-risk 群は、方向転換動作時の減速局面において、接地後に ACL 損傷の危険率が高まる運動学的特徴を有することが明らかになり、接地後における膝関節運動をコントロールするには、接地前の体幹姿勢が重要であることが示唆された。

本研究の限界として、力学的データを評価していないことが挙げられる。しかし、交絡因子として運動学的特徴 (ACL 損傷危険率) をコントロールした上で、方向転換動作時の体幹及び下肢関節運動を競技環境下において評価した本研究は、ACL 損傷の危険度が高い選手の動作特徴を理解する上で有益な研究であると考え、今後は実験室環境において明らかになっている ACL 損傷の危険因子に加え、実際の競技場面及び環境における ACL 損傷の危険因子の特定、そしてそれら実験室環境と競技環境との比較が必要であると考え、

結 論

ACL 損傷危険率予測指標によって High-risk と特定された選手は、SR において大きな膝外転角度を示すこと、そして SR における接地後の体幹外方傾斜角度の増大が膝外転角度の増大に関与している可能性が示唆された。ACL 損傷危険率予測指標は、潜在的に High-risk となる運動学的特徴を有する者を概ね認識することが可能であり、事前に把握することで対象者を中心に予防プログラム

を入念に行うなど、効果的な ACL 損傷予防対策を確立する一助となると考える。

謝 辞

本著は、平成 25 年度日本体育協会スポーツ医・科学研究事業「ジュニア期におけるスポーツ外傷・障害予防への取り組み」および早稲田大学スポーツ科学研究科グローバル COE プログラム「アクティブ・ライフを創出するスポーツ科学」の研究事業の一環として実施され、助成を受けている。また、本研究の実施にあたり、関東大学女子サッカーリーグ 1 部に所属し、ご協力をいただいたチームの方々に深謝致します。

文 献

- 1) Agel, J et al.: Anterior cruciate ligament injury in national collegiate athletic association basketball and soccer: a 13-year review. *Am J Sports Med* 33 (4): 524-530, 2005.
- 2) Boden, BP et al.: Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics* 23(6): 573-578, 2000.
- 3) Arendt, E. et al.: Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. NCAA data and review of literature. *Am J Sports Med* 23(6): 694-701, 1995.
- 4) Arendt, EA et al.: Anterior cruciate ligament injury patterns among collegiate men and women. *J Athl Train* 34(2): 86-92, 1999.
- 5) Griffin, LY et al.: Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. *J Am Acad Orthop Surg* 8(3): 141-150, 2000.
- 6) Hewett, TE 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* 33(4): 492-501, 2005.
- 7) 笹木正悟, 馬越博久ほか: サッカーにおける ACL 損傷予防とその効果—現場でのスクリーニングの提案—. *臨床スポーツ医学* 31(11): 1054-1060, 2014.
- 8) Arnoczky, SP et al.: Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop Relat Res* (172): 19-25, 1983.
- 9) Hara, K et al.: Anatomy of normal human anterior cruciate ligament attachments evaluated by divided small bundles. *Am J Sports Med* 37(12): 2386-2391, 2009.

- 10) Olsen, OE et al.: Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *Am J Sports Med* 32(4): 1002-1012, 2004.
- 11) Koga, H 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* 38(11): 2218-2225, 2010.
- 12) Gabriel, MT et al.: Distribution of in situ forces in the anterior cruciate ligament in response to rotatory loads. *J Orthop Res* 22(1): 85-89, 2004.
- 13) Kanamori, A et al.: The forces in the anterior cruciate ligament and knee kinematics during a simulated pivot shift test: A human cadaveric study using robotic technology. *Arthroscopy* 16(6): 633-639, 2000.
- 14) Levine, JW et al.: Clinically relevant injury patterns after an anterior cruciate ligament injury provide insight into injury mechanisms. *Am J Sports Med* 41(2): 385-395, 2013.
- 15) Malinzak, RA et al.: A comparison of knee joint motion patterns between men and women in selected athletic tasks. *Clin Biomech* 16(5): 438-445, 2001.
- 16) Ford, KR et al.: Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. *Med Sci Sports Exerc* 35(10): 1745-1750, 2003.
- 17) Besier, TF et al.: External loading of the knee joint during running and cutting maneuvers. *Med Sci Sports Exerc* 33(7): 1168-1175, 2001.
- 18) Noyes, FR et al.: The drop-jump screening test: difference in lower limb control by gender and effect of neuromuscular training in female athletes. *Am J Sports Med* 33(2): 197-207, 2005.
- 19) Myer, GD et al.: New method to identify athletes at high risk of ACL injury using clinic-based measurements and freeware computer analysis. *Br J Sports Med* 45(4): 238-244, 2011.
- 20) Myer, GD et al.: Clinical correlates to laboratory measures for use in non-contact anterior cruciate ligament injury risk prediction algorithm. *Clin Biomech* 25(7): 693-699, 2010.
- 21) Myer, GD et al.: Three-dimensional motion analysis validation of a clinic-based nomogram designed to identify high ACL injury risk in female athletes. *Phys Sportsmed* 39(1): 19-28, 2011.
- 22) 公益財団法人日本サッカー協会：JFA フィジカル測定ガイドライン。2006.
- 23) Kristianslund, E et al.: Sidestep cutting technique and knee abduction loading: implications for ACL prevention exercises. *Br J Sports Med* 41(3): 684-688, 2013.
- 24) Cortes, N et al.: Pivot task increases knee frontal plane loading compared with sidestep and drop-jump. *J Sports Sci* 29(1): 83-92, 2011.
- 25) Hewett, TE et al.: 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* 43(6): 417-422, 2009.
- 26) Houck, JR, Duncan, A., De Haven, K.E.: Comparison of frontal plane trunk kinematics and hip and knee moments during anticipated and unanticipated walking and side step cutting tasks. *Gait Posture* 24(3): 314-322, 2006.
- 27) Dempsey, AR et al.: The effect of technique change on knee loads during sidestep cutting. *Med Sci Sports Exerc* 39(10): 1765-1773, 2007.

(受付：2016年1月19日，受理：2016年4月28日)

Characteristics of cutting maneuver in female college soccer players classified by the risk level of anterior cruciate ligament injury

Magoshi, H. ^{*1}, Hoshiba, T. ^{*2}, Saho, Y. ^{*3}
Sasaki, S. ^{*4}, Hirose, N. ^{*5}, Fukubayashi, T. ^{*5}

^{*1} HACHIOJI Sports Orthopaedic Clinic Rehabilitation Center

^{*2} Graduate School of Sport Sciences, Waseda University

^{*3} Faculty of Medical Technology, Teikyo University

^{*4} Faculty of Health Sciences, Tokyo Ariake University of Medical and Health Sciences

^{*5} Faculty of Sport Sciences, Waseda University

Key words: ACL injury risk prediction algorithm, shuttle run, lower limb kinematics

[Abstract] The purpose of this study was to examine the characteristics of cutting maneuver by female college soccer players who were identified to be at a high risk for anterior cruciate ligament (ACL) injury according to the ACL injury risk prediction algorithm. Thirty-five female college soccer players participated in this study. They were classified into either the ACL injury high or low risk group based on their risk level for ACL injury. The trunk lateral inclination, hip flexion/abduction, and knee flexion/abduction angle during shuttle run were compared between the low and high risk groups. The maximum trunk lateral inclination and knee abduction angles during the cutting maneuver were significantly greater in the high risk group than the low risk group, and great trunk lateral inclination and knee abduction angles are considered to be high risk positions of ACL injury in SR. The present study suggests that the ACL injury risk prediction algorithm can generally recognize a potentially high risk. Therefore, by understanding the risk in advance, we may be able to create a prevention program in case of a high risk. This can contribute to the development of an effective prevention program for ACL injury.