

異なる片脚着地動作が 体幹加速度と体幹角度、下肢角度に及ぼす影響

The effect of different single-leg landing tasks on trunk acceleration and trunk and lower limb angles

笹木正悟*1, 永野康治*2, 福林 徹*3

キー・ワード : single-leg landing, trunk acceleration, landing posture
片脚着地, 体幹加速度, 着地姿勢

〔要旨〕 本研究は single-leg drop landing (SDL) と single-leg cross drop landing (SCDL) を用いて、試技の違いと性差を検討することを目的とした。健康な大学生 20 名(男性 10 名, 女性 10 名)を対象とし、体幹加速度, 体幹傾斜角度(前方・側方), 大腿角度, 膝外反角度および膝屈曲角度を算出した。体幹加速度は試技間および性別間で有意な差はみられなかった。SCDL では女性が男性に比べて体幹前傾は小さく, 男女ともに SCDL は SDL に比べて体幹側方傾斜および膝外反が大きかった。また, 体幹加速度と体幹傾斜角度との間には有意な相関関係を認めた。SCDL は膝前十字靭帯損傷リスクを導出しやすい試技であること, 着地時の衝撃を抑制するためには体幹位置のコントロールが重要であることが示唆された。

緒 言

非接触型の膝前十字靭帯 (Anterior Cruciate Ligament: ACL) 損傷は男性に比べて女性に多く, スポーツ活動中の着地動作が受傷機転の 1 つであることが知られている^{1,2)}。受傷映像のビデオ分析において, ACL 損傷時には急激な膝関節の外反・内旋運動が生じていることに加え³⁾, 体幹の前方傾斜減少⁴⁾および側方傾斜増大⁵⁾が報告されている。また, ACL 損傷群はコントロール群に比べて, drop vertical jump (DVJ) 着地時の最大床反力が約 20% 大きかった⁶⁾。このような stiff landing (硬い着地) は, 不良なダイナミックアライメントを呈する関節への力学的負荷を増大させることにつながる。さらに ACL 受傷場面では, 接地後 40ms 付近で垂直床反力の推定値がピークに達していた³⁾。このように, ACL 損傷の受傷メカニズムは多

数の研究成果により徐々に明らかにされている。

ACL 損傷予防に向けた危険因子の予測やスクリーニングテストについての研究も進められている。これまでも, 臨床現場で用いるのに簡便かつ有用なツールとして, DVJ^{6,7)}や tuck jump⁸⁾などが提案されている。しかしながら, 近年の大規模コホート研究では, DVJ が新たな ACL 損傷者を検出するのに優れたスクリーニングテストではないことが報告された⁹⁾。Tuck jump assessment においても一定の信頼性や妥当性が得られておらず¹⁰⁾, 臨床現場で ACL 損傷の危険因子を普遍的に抽出するには不十分であるといえる。Bahr¹¹⁾は現段階でスポーツ傷害を予測できるためのスクリーニングテストは存在せず, さらなる研究ステップの積み上げが必要であることを述べている。

そのようななか近年では, 臨床現場で実施可能な簡便なテストとして, 斜め前方に跳び降りる cross drop landing^{12,13)} が考案されている。Cross drop landing は, ACL 損傷リスクとなる体幹の側方運動をコントロール条件下で誘発させる試技であり, 従来行われてきた DVJ^{6,7,9)}や drop landing¹⁴⁾

*1 東京有明医療大学保健医療学部

*2 日本女子体育大学体育学部

*3 早稲田大学スポーツ科学学術院

では観察しづらい体幹部の動作不全を評価するのに優れているといわれている^{12,13)}。体幹の側方傾斜は ACL 損傷の危険因子である膝外反モーメントを変化させる要素の1つであり¹⁵⁾、繰り返し動作においては体幹側方傾斜の変位量が膝外反モーメントに対して有意な回帰関係を示すことが報告されている¹⁶⁾。特に、女性においては一過性の口頭指示のみで体幹を至適にコントロールすることは難しく、その影響は下肢キネマティクスにも影響を及ぼす¹⁶⁾。さらに近年では、ウェアラブルセンサを用いて体幹部の加速度情報から ACL 損傷につながるリスクの抽出が試みられている^{17,18)}。着地時の体幹加速度は床反力と強い相関関係があり¹⁹⁾、体幹加速度は現場で簡便に用いることができる ACL 損傷リスクのチェック項目として有益な情報であると推察できる。しかしながら、cross drop landing における体幹加速度と着地姿勢について drop landing と違いがあるかを検討した報告はみられない。

そこで本研究は、着地方向が異なる drop landing と cross drop landing の体幹加速度、体幹角度および下肢角度について、試技の違いと性差を明らかにすることを目的とした。本研究の仮説は、1) cross drop landing は drop landing に比べて体幹加速度が大きく、女性は男性に比べて体幹加速度が大きい、2) cross drop landing は drop landing に比べて過小な体幹前方傾斜、過大な体幹側方傾斜、過小な膝屈曲、過大な膝外反を呈するとした。

■ 方 法

1. 対象

対象は、過去半年以内に下肢傷害の既往がない健常な男女大学生 20 名（男性 10 名：年齢 21.3 ± 0.5 歳，身長 1.73 ± 0.04 m，体重 68.3 ± 5.0 kg；女性 10 名：年齢 20.7 ± 0.7 歳，身長 1.58 ± 0.04 m，体重 55.5 ± 3.7 kg）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、文章にて参加の同意を得られた者を対象者とした。なお、本研究はヘルシンキ宣言の趣旨に則り、東京有明医療大学倫理審査委員会の承認を得て実施した（有明医療大倫理委承認第 118 号）。

2. 測定試技

対象者は高さ 31cm のボックス台上に非利き足で立った状態から跳び降り、利き足での片脚着地を行った。着地動作は以下 2 種類の試技を実施し

た。なお、対象者の利き足はボールを蹴る側の脚と定義し、成功試技 3 回の平均値を個人の値とした。

対象者には事前の練習を 3 回以上行わせ、動作課題が十分に習熟できた後に測定を実施した。成功試技は、片脚着地後に 3 秒以上静止できた試技と定義し、着地後にバランスを崩した試技は失敗試技として除外した。

1) Single-leg Drop Landing (SDL)

対象者はボックス台の中央に立ち、真っ直ぐ前方に跳び降りて片脚で着地を行った（図 1 上）。ボックス台前方の床には 35cm 幅（台中央から左右に 17.5cm）のラインをひき、対象者にはラインの間に着地するように指示した。

2) Single-leg Cross Drop Landing (SCDL)

対象者はボックス台の一端（利き足側）に立ち、逆端（非利き足側）前方に跳び降りて片脚で着地を行った（図 1 下）。ボックス台前方の床には 35cm 幅（台中央から左右に 17.5cm）のラインをひき、対象者には逆端のラインを越えて着地するように指示した。

3. データ収集

1) 体幹加速度

対象者の上位胸椎（T2-3 Level）には、専用ベストを用いて 3 軸ワイヤレスモーションセンサ（LP-WS1201, Sports Sensing 社製）を装着した。サンプリング周波数は 200Hz とし、各試技における片脚着地時の体幹加速度を収集した。センサは各軸方向を重力方向に向けた際の加速度を 1G と設定した。体幹部固定時におけるセンサの軸方向は、x 軸を左右方向（非利き足側：+，利き足側：-），y 軸を上下方向（下方：+，上方：-），z 軸を前後方向（前方：+，後方：-）とした（図 2）。また、各軸の成分加速度から合成加速度（ $=\sqrt{x^2+y^2+z^2}$ ）を算出した。

2) 体幹角度および下肢角度

着地動作の撮影には、2 台のハイスピードカメラ（EX-FC150, Casio 社製）を用いた。ビデオカメラのサンプリング周波数は 240Hz とし、前額面および矢状面から同時に撮影した。対象者には体表マーカーを計 10 箇所（両側：肩峰，上前腸骨棘，利き足側：大転子，膝関節裂隙，膝蓋骨中央，外果，足関節中央）貼付した。

4. 分析方法

体幹部の加速度データとビデオ映像は、画像・



図1 上段：Single-leg Drop Landing (SDL)，下段：Single-leg Cross Drop Landing (SCDL)



図2 加速度センサの装着位置と軸方向の定義

波形編集ソフトウェア (Pixel Runner G, Pixel Gate 社製) を用いて同期させた。片脚着地後に合成加速度 ($=\sqrt{(x^2+y^2+z^2)}$) が最大になった時の各成分加速度 (x 軸, y 軸, z 軸) を抽出した。また、合成加速度が最大となるビデオ映像から、体幹前方傾斜角度、体幹側方傾斜角度、大腿角度、膝外反角度および膝屈曲角度を算出した。先行研究^{4,12,20)} を参考に、体幹前方傾斜は利き足側の肩

峰—大転子と垂線のなす角度 (θ_1)、体幹側方傾斜は非利き足側の肩峰—上前腸骨棘と垂線のなす角度 (θ_2)、大腿屈曲は利き足側の大転子—膝関節裂隙と垂線のなす角度 (θ_3)、膝屈曲は利き足側の大転子—膝関節裂隙と外果—膝関節裂隙のなす角度 (θ_4)、膝外反は利き足側の上前腸骨棘—膝蓋骨中央と足関節中央—膝蓋骨中央のなす角度 (θ_5) と定義した (図3)。さらにビデオ映像を用いて、接地直後から合成加速度が最大になるまでのフレーム数と周波数あたりの時間 (1000ms/240frame) を乗じて、出現時間を推定した。

5. 統計処理

測定結果は、平均値 (mean) \pm 標準偏差 (SD) で表記し、統計的検定量の算出には IBM SPSS Statistics ver.22 for Windows を用いた。

性別によって各試技 (SDL と SCDL) における体幹加速度および着地姿勢が変化するかを調べるために、被験者内因子を試技、被験者間因子を性別とする二元配置分散分析を行った。主効果および交互作用がみられた要因については、Bonferroni 法による多重比較検定を行った。また、各試技間の合成加速度の関係性、および体幹加速度と体幹角度、下肢角度の関係性を検討するために、Pearson の積率相関係数を求めた。統計学的有意水準は 5% 未満とした。

本研究のパイロットスタディとして、3回の着

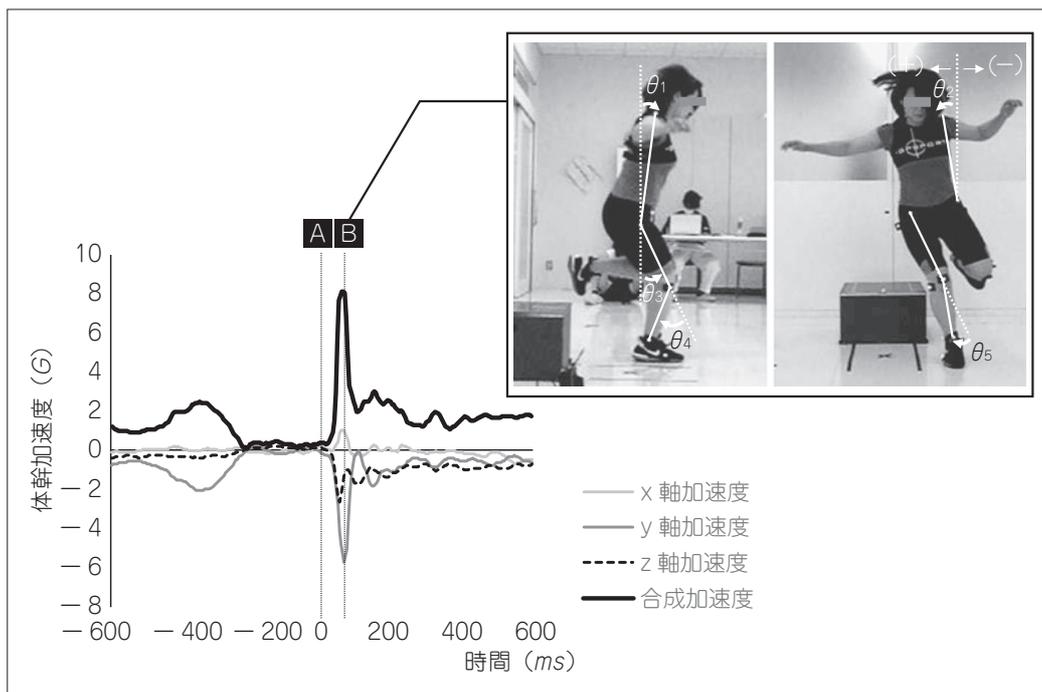


図3 体幹加速度と身体角度の分析方法。Aは接地時、Bは合成加速度が最大になった時を示す。θ₁は体幹前方傾斜角度、θ₂は体幹側方傾斜角度、θ₃は大腿屈曲角度、θ₄は膝屈曲角度、θ₅は膝外反角度を示す。AからBまでにかかった時間を、最大合成加速度の出現時間として算出した。

表1 SDLおよびSCDLにおける男女の比較

	SDL		SCDL	
	男性 (n=10)	女性 (n=10)	男性 (n=10)	女性 (n=10)
合成加速度 (G)	7.15 ± 2.52	8.57 ± 1.70	6.73 ± 1.91	8.67 ± 3.42
x 軸加速度 (G)	0.69 ± 0.41	1.12 ± 0.48	0.74 ± 0.55	0.95 ± 0.56
y 軸加速度 (G)	-4.71 ± 1.82	-5.90 ± 1.33	-4.34 ± 1.83	-5.78 ± 1.94
z 軸加速度 (G)	-1.75 ± 0.99	-1.50 ± 0.72	-1.60 ± 0.51	-1.93 ± 1.37
体幹前方傾斜 (°)	13.7 ± 5.2##	11.0 ± 4.2	17.1 ± 6.7##.*	10.6 ± 4.9*
体幹側方傾斜 (°)	-3.6 ± 3.6#	-1.3 ± 3.8##	-2.0 ± 4.2#.*	2.8 ± 5.2##.*
大腿屈曲 (°)	22.4 ± 5.1	20.2 ± 4.7	23.4 ± 7.0	17.7 ± 3.8
膝屈曲 (°)	34.9 ± 5.9##	36.9 ± 6.5	40.7 ± 9.4##	38.5 ± 6.2
膝外反 (°)	5.5 ± 4.9##	8.0 ± 5.9##	13.7 ± 6.0##	14.6 ± 6.1##
出現時間 (ms)	50.2 ± 10.2	56.1 ± 8.7	56.8 ± 13.4	57.9 ± 7.5

SDL : Single-leg drop landing, SCDL : Single-leg cross drop landing

試技間 : # $p < 0.05$, ## $p < 0.01$

性別間 : * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

地動作について体幹合成加速度および各角度の検者内信頼性 ICC (1, 3) を検討した。体幹合成加速度について、SDLでは0.79,SCDLでは0.94を示し、各試技における体幹部の最大合成加速度について十分な信頼性を確認できた。また、体幹前方傾斜では0.87および0.94,体幹側方傾斜では0.94および0.88,大腿屈曲では0.84および0.75,膝屈曲では0.85および0.85,膝外反では0.88および0.76を示し、体幹および下肢角度についての検者

内信頼性はExcellent (>0.75)に分類できた。

■ 結果

SDLおよびSCDLにおける体幹加速度、体幹角度および下肢角度の違いと、各試技の性差を表1に示した。また、SDLおよびSCDLにおける合成加速度の相関関係を図4に示した。体幹加速度については試技間および性別間に統計学的な有意差はみられなかったが、SDLとSCDLの合成加速度

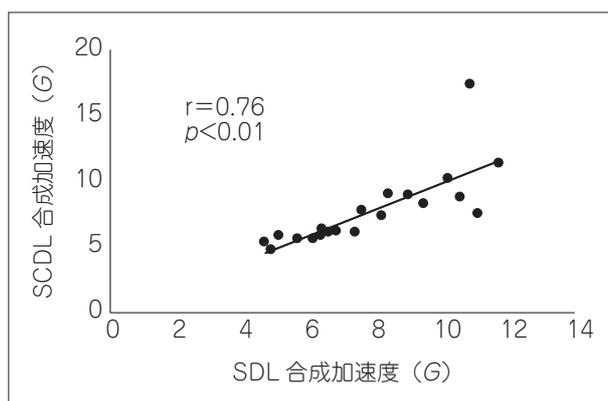


図4 Single-leg drop landing (SDL) および Single-leg cross drop landing (SCDL) における合成加速度の相関関係

表2 SDL における体幹加速度と体幹角度、下肢角度の相関関係

	体幹前方傾斜	体幹側方傾斜	大腿屈曲	膝屈曲	膝外反
合成加速度	-0.318	0.769**	-0.162	-0.063	0.046
x 軸加速度	-0.055	0.692**	0.158	0.385	-0.057
y 軸加速度	0.484*	-0.754**	0.317	0.131	-0.114
z 軸加速度	-0.171	-0.147	-0.123	0.107	0.064

SDL : Single-leg drop landing, ** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$

表3 SCDL における体幹加速度と体幹角度、下肢角度の相関関係

	体幹前方傾斜	体幹側方傾斜	大腿屈曲	膝屈曲	膝外反
合成加速度	-0.411	0.537*	-0.032	-0.024	-0.118
x 軸加速度	-0.087	0.598**	0.233	0.201	0.076
y 軸加速度	0.524*	-0.604**	0.151	0.166	0.041
z 軸加速度	0.090	-0.035	-0.059	-0.146	0.286

SCDL : Single-leg cross drop landing, ** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$

には強い相関関係がみられた。体幹前方傾斜および側方傾斜については交互作用が認められ、男性では SCDL が SDL に比べて前傾角度が大きく、SCDL では女性が男性に比べて前傾角度が小さかった。また、男女ともに SCDL が SDL に比べて支持脚側への傾斜角度が大きく、SCDL では女性が男性に比べてより側方傾斜が大きかった。膝屈曲および膝外反については試技間のみ主効果がみられ、男性の膝屈曲および膝外反、女性の膝外反に有意差が認められた。合成最大加速度の出現時間には試技間および性別間に統計学的な有意差はみられず、SDL、SCDL ともに接地後 50~60ms で最大合成加速度が生じていた。

表2、3 には、SDL および SCDL における体幹加速度と体幹角度、下肢角度の関係性を示した。

体幹前方傾斜角度と y 軸加速度、体幹側方傾斜角度と合成加速度、x 軸加速度、y 軸加速度の間に有意な相関関係を認めた。

■ 考 察

傷害予防に向けた前向き研究の手法として、複数の施設で同一条件のデータサンプルを共有し、大規模サンプルから疫学研究とバイオメカニクス研究を組み合わせるリスク検証を行う「マルチセンターアプローチ」は有用である。SDL および SCDL は ACL 損傷予防に向けたマルチセンターアプローチに用いる試技として近年注目されており、異なる施設で実施しても十分な信頼性を担保できることが報告されている^{13,14)}。また、体幹部のコントロールは ACL 損傷の予防戦略として重要

であり、神経筋コントロールに着目したプログラムはこれまでに多数提唱されている。本研究は、ACL 受傷機転の1つである片脚着地動作を用いて、体幹部の動態を簡便かつ定量的な方法で評価した取り組みである。

最大合成加速度が出現した時の体幹加速度について、各試技および性別の間に統計学的な有意差はみられなかった。しかしながら、SDL と SCDL の合成加速度の間には強い正の相関関係がみられた。本研究と同じ位置に加速度センサを装着した先行研究では、片脚着地動作における垂直床反力と体幹部の合成加速度および上下方向加速度は強い相関を示している¹⁹⁾。Rowlands ら²¹⁾は着地以外のランニングやジャンプ動作において、腰部および手首に装着した加速度センサと床反力には強い相関関係を認めている。このことから、本研究における SDL と SCDL で発生した床反力の大きさは同じ程度であったことが推察できる。さらに、各試技の合成加速度間には強い相関関係がみられたことから、着地時の衝撃緩衝能力は個人の着地技術の優劣が大きく関係することが示唆された。

体幹傾斜について、男性では SCDL が SDL に比べて前傾角度が大きく、SCDL では女性が男性に比べて前傾角度が小さかった。ACL 損傷のビデオ分析では、受傷群はコントロール群に比べて体幹の前方傾斜が有意に小さく、身体重心はより後方に位置する特徴がみられた⁴⁾。Shimokochi ら²²⁾は、上体を起こした着地は前傾させた姿勢での着地に比べて、ACL に有害な事象を引き起こすことを示している。また、体幹前方傾斜角度は膝関節内旋変位量と相関することから²³⁾、着地時の過小な体幹前傾は ACL へのストレスを惹起する可能性が推察された。本研究は、男性で SDL に比べて SCDL の体幹前傾角度が大きくなっており、SCDL における前傾角度の性差を生じさせていたと考えられる。つまり男性は女性に比べて、高度な動作課題に変化した際に危険肢位を回避する調整ができていたと推察された。膝屈曲についても同様の変化が生じており、男性は SDL に比べて SCDL での膝屈曲角度が大きかった。膝軽度屈曲位での着地は受傷場面にみられる特徴であり^{3,20)}、膝屈曲角度の増大により大腿四頭筋収縮時の ACL 歪みは減少する²⁴⁾。体幹前傾や膝屈曲は矢状面上の運動であることから、男性は矢状面の動作をコントロールすることで SCDL に生じる ACL

損傷リスクを軽減させている可能性が考えられた。

体幹側方傾斜について、男女ともに SCDL が SDL に比べて支持脚側への傾斜角度が大きく、SCDL では女性が男性に比べて側方傾斜が有意に大きかった。本研究で用いた2次元の体幹側方傾斜の算出方法は、3次元動作解析システムを用いた体幹傾斜角度と強い相関を示しており、片脚着地動作を評価するうえで妥当なパラメータであることが確認されている¹²⁾。また、膝外反角度は男女ともに SCDL が SDL に比べて有意に大きく、横方向への片脚ホップを用いた先行研究²⁵⁾と類似した結果を示した。SCDL での体幹側方傾斜角度は膝外反角度と有意に相関することに加え¹²⁾、サイドステップカッティング時の膝外反モーメントは体幹側方傾斜の違いにより変化することが報告されている¹⁵⁾。片脚支持を要するカッティング動作においても、ACL 損傷リスクが高い選手ほど支持脚側への体幹側方傾斜および膝外反角度が大きかった²⁶⁾。接地直後の膝外反^{1-3,20)}や受傷側への体幹傾斜は⁵⁾、ACL 損傷場面にみられる典型的な危険肢位であることから、身体には同程度の衝撃を受けているものの、SCDL は SDL に比べてより前額面上のリスクファクターを誘発しやすい評価試技であることが確認できた。特に、体幹側方傾斜角度にみられる性差からも、SCDL は女性の ACL 損傷リスクを導出しやすい試技であると考えられた。

本研究で用いた最大合成加速度は、SDL および SCDL ともに接地から約 50~60ms で生じていた。コンピューターシミュレーションモデルによる片脚着地動作では、接地後約 40ms で ACL に最大張力が生じている²⁷⁾。また、受傷場面のビデオ分析においても、垂直床反力と急激な角度変位のタイミングから、接地後 40ms での ACL 損傷メカニズムが提唱されている³⁾。最大合成加速度の出現時間は ACL 損傷のタイミングよりも若干遅れているが、その理由として本研究では地面より上位に位置する体幹部で衝撃力を評価しているためであると推察できる。体幹部加速度の計測は時間的・空間的な制約や身体的ストレスが極めて少ないことから、スポーツ現場や臨床現場における ACL 損傷関連因子の簡便な評価指標として有用であると考えられた。

体幹加速度に関係する身体角度を調べると、

SDL および SCDL とともに、体幹前方傾斜角度と上下方向加速度、体幹側方傾斜角度と合成加速度、左右方向加速度、上下方向加速度の間に有意な相関を認めた。上体を起こした姿勢での着地は、床反力増大の要因となる²²⁾。シャトルランカッティングを用いた実験においても、体幹の前方傾斜角度と上下方向加速度は相関すると報告されており²⁸⁾、先行研究を支持する結果が得られた。SDL および SCDL とともに支持脚側に体幹が傾斜するほど体幹加速度が増大することが観察できた本研究は、体幹加速度と関係する床反力を着地時にどのようにコントロールできるかを示す基礎データになると考えられる。近年では、ACL 損傷予防の予防戦略として、事前に危険を予知して身体の動きをコントロールする feed-forward strategy の重要性が唱えられている²⁹⁾。SDL や SCDL といった片脚着地においても、接地前から膝関節や股関節の動きに着目するだけでなく、適切な体幹位置をコントロールするための動作指導、フィードバックが重要であると考えられた。

本研究の限界として、身体角度の計測が二次元解析であるということがあげられる。しかしながら、片脚着地動作はシャトルラン(180度の方向変換動作)や競技動作(キック動作、投球動作など)に比べて身体の回旋が小さい。先行研究においても、身体方向が変わらないサイドジャンプは二次元解析と三次元解析の間に一定の相関関係を認めており、二次元解析の有用性を示している³⁰⁾。また、体幹傾斜の算出方法は三次元解析データと相関する手法を用いており¹²⁾、現場で片脚着地動作を簡便に評価するうえでは有益な基礎データになると考えられる。さらに、本研究は体幹部の合成最大加速度が出現した時点の分析結果のみを報告した。今後は、接地前からの時系列として、体幹加速度や着地動作について観察していく必要があると考えられた。

結 語

SDL と SCDL を用いた異なる着地動作の比較において、体幹加速度は試技間および性別間で有意な差はみられなかった。SCDL では女性が男性に比べて体幹前傾は小さく、男女ともに SCDL は SDL に比べて体幹側方傾斜および膝外反が大きかった。また、体幹加速度と体幹傾斜角度との間には有意な相関関係を認めた。SCDL は膝前十

字靭帯損傷リスクを導出しやすい試技であること、着地時の衝撃を抑制するためには体幹位置のコントロールが重要であることが示唆された。

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) 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* 32(4): 1002-1012, 2004.
- 2) 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* 35(3): 359-367, 2007.
- 3) 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* 38(11): 2218-2225, 2010.
- 4) Sheehan, FT, Sipprell, WH 3rd, Boden, BP: Dynamic sagittal plane trunk control during anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med* 40(5): 1068-1074, 2012.
- 5) 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* 43(6): 417-422, 2009.
- 6) 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* 33(4): 492-501, 2005.
- 7) Myer, GD, Ford, KR, Hewett, TE: 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.
- 8) Myer, GD, Ford, KR, Hewett, TE: Tuck jump assessment for reducing anterior cruciate ligament injury risk. *Athl Ther Today* 13(5): 39-44, 2008.
- 9) Krosshaug, T, Steffen, K, Kristianslund, E et al.: The vertical drop jump is a poor screening test for

- ACL injuries in female elite soccer and handball players: a prospective cohort study of 710 athletes. *Am J Sports Med* 44(4): 874-883, 2016.
- 10) Dudley, LA, Smith, CA, Olson, BK et al.: Interrater and intrarater reliability of the tuck jump assessment by health professionals of varied educational backgrounds. *J Sports Med (Hindawi Publ Corp)* 483503, 2013.
 - 11) Bahr, R: Why screening tests to predict injury do not work-and probably never will...: a critical review. *Br J Sports Med* 50(13): 776-780, 2016.
 - 12) DiCesare, CA, Bates, NA, Myer, GD et al.: The validity of 2-dimensional measurement of trunk angle during dynamic tasks. *Int J Sports Phys Ther* 9(4): 420-427, 2014.
 - 13) DiCesare, CA, Bates, NA, Barber Foss, KD et al.: Reliability of 3-dimensional measures of single-leg cross drop landing across 3 different institutions: implications for multicenter biomechanical and epidemiological research on ACL injury prevention. *Orthop J Sports Med* 3(12): 2325967115617905, 2015.
 - 14) Myer, GD, Bates, NA, DiCesare, CA et al.: Reliability of 3-dimensional measures of single-leg drop landing across 3 institutions: implications for multicenter research for secondary ACL-injury prevention. *J Sport Rehabil* 24(2): 198-209, 2015.
 - 15) Dempsey, AR, Lloyd, DG, Elliott, BC et al.: The effect of technique change on knee loads during side-step cutting. *Med Sci Sports Exerc* 39(10): 1765-1773, 2007.
 - 16) 永野康治：スポーツ外傷予防の観点からみた良い動き—切り返し動作における前十字靭帯損傷予防への示唆—。 *バイオメカニクス研究* 20(1): 48-53, 2016.
 - 17) Sasaki, S, Shimada, Y, Nagano, Y : Sex-based difference in trunk acceleration and landing posture during the drop vertical jump test. 34th international conference on biomechanics in sports electric proceeding, P0211308, 2016.
 - 18) 永野康治, 笹木正悟, 市川 浩 : バドミントン競技中における体幹加速度について—競技中の外傷・障害危険動作抽出を目指した Pilot study—。 *臨床バイオメカニクス* 37: 305-310, 2016.
 - 19) Nagano, Y, Sasaki, S, Higashihara, A et al. : Relationships between trunk and knee acceleration and the ground reaction force during single limb landing. 34th international conference on biomechanics in sports electric proceeding, P0606131, 2016.
 - 20) 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* 37(2): 252-259, 2009.
 - 21) Rowlands, AV, Stiles, VH: Accelerometer counts and raw acceleration output in relation to mechanical loading. *J Biomech* 45(3): 448-454, 2012.
 - 22) 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* 21(4): 888-897, 2013.
 - 23) Nagano, Y, Ida, H, Akai, M et al.: Relationship between three-dimensional kinematics of knee and trunk motion during shuttle run cutting. *J Sports Sci* 29(14): 1525-1534, 2011.
 - 24) Durselen, L, Claes, L, Kiefer, H: The influence of muscle forces and external loads on cruciate ligament strain. *Am J Sports Med* 23(1): 129-136, 1995.
 - 25) 伊藤 渉, 加賀谷善教, 川原 貴 : 片脚ホップ動作の方向による膝外反角度の違い。 *日本臨床スポーツ医学会誌* 24(1): 29-35, 2016.
 - 26) 馬越博久, 干場拓真, 佐保泰明ほか : 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。 *日本臨床スポーツ医学会誌* 24(3): 396-406, 2016.
 - 27) Shin, CS, Chaudhari, AM, Andriacchi, TP: The influence of deceleration forces on ACL strain during single-leg landing: a simulation study. *J Biomech* 40(5): 1145-1152, 2007.
 - 28) Nagano, Y, Sasaki, S, Higashihara, A et al.: Gender differences in trunk acceleration and related posture during shuttle run cutting. *Int Biomech* 3(1): 33-39, 2016.
 - 29) Koga, H, Muneta, T, Bahr, R et al.: Video analysis of ACL injury mechanism using a model-based image-matching technique. *Sports Injuries and Prevention*. Springer Japan, Tokyo, 109-120, 2015.
 - 30) McLean, SG, Walker, K, Ford, KR et al.: Evaluation of a two dimensional analysis method as a screening and evaluation tool for anterior cruciate liga-

The effect of different single-leg landing tasks on trunk acceleration and trunk and lower limb angles

Sasaki, S.^{*1}, Nagano, Y.^{*2}, Fukubayashi, T.^{*3}

^{*1} Faculty of Health Sciences, Tokyo Ariake University of Medical and Health Sciences

^{*2} Faculty of Sports and Health Sciences, Japan Women's College of Physical Education

^{*3} Faculty of Sport Sciences, Waseda University

Key words: single-leg landing, trunk acceleration, landing posture

[Abstract] The purpose of this study was to investigate the effects of 2 different landing tasks, single-leg drop landing (SDL) and single-leg cross drop landing (SCDL). Twenty collegiate students (10 males and 10 females) participated in this study. Trunk acceleration was measured with a lightweight tri-axial accelerometer. Trunk inclination angle (forward and lateral), femur flexion angle, and knee flexion and valgus angles were measured using two-dimensional video analysis. In terms of trunk acceleration, there were no significant differences between the tasks by gender. Female participants demonstrated a larger lower trunk forward inclination angle than male participants during SCDL. The trunk lateral inclination and knee valgus angles during SCDL were larger than those during SDL in both genders. Furthermore, trunk acceleration displayed significant correlation with the trunk inclination angles. These findings indicated that SCDL was useful to elucidate risk factors for anterior cruciate ligament injury, and control of the trunk position was essential to avoid a large impact force during landing.