

片脚ドロップ着地での動的バランス能力についての性差による検討

吉田 一也¹⁾ 佃 文子¹⁾

Study of Sex-related Differences in Dynamic Postural Balance Ability Following Single-leg Drop Landing

Kazuya YOSHIDA Fumiko TSUKUDA

Abstract

This study aimed to examine sex-related differences in postural balance ability following a single-leg drop landing action. These results will be used as basic data for predicting the onset of anterior cruciate ligament (ACL) injury in male athletes in the future.

The subjects were 109 individuals (88 male and 21 female), who performed a single-leg drop landing from a platform located at a height of 20 cm. After landing, they assumed a stable posture for 8 seconds. The ground reaction force on landing was measured using a sampling frequency of 1000 Hz. The measured data include the distance travelled by the center of pressure (COP) and the value of the vertical component of the ground reaction force after landing. The distance travelled from 20-msecs to 5 seconds during the movement of the COP was used as the COP locus length. For the vertical component of the ground reaction force, the maximum value and timing of onset of the maximum value were used. In the statistical analysis, the unpaired t test was used for the comparison by sex. For the COP locus length and ground reaction force, the relationship was investigated using the product-moment correlation coefficient.

The results showed that males had significantly higher 20- to 200-msecs COP locus length and maximum ground reaction force values than females. A significant correlation was found between the 20- to 200-ms COP locus length and the vertical component of the ground reaction force. In the future, ACL injuries in male athletes must be examined prospectively, and the risk of onset must be investigated.

Key words : Single-leg drop jump, Dynamic balance, Sex-difference

キーワード：片脚ドロップ着地，動的バランス，性差

1) スポーツ学部

1. はじめに

前十字靭帯損傷（以下「ACL損傷」と略す）を含む重篤な下肢スポーツ傷害は、長期間の競技休止期間が生じる。そのため、傷害の発症前の予防が必要となる。ACL損傷は女性で多く、非接触型損傷での発症率が高いことが報告されているため（Agel et al., 2005），ACL損傷の発症因子の検討は女性で多く行われている。

小笠原ほか（2017）は、女性を対象としてACL損傷前の片脚ドロップ着地動作から動的バランス能力を検討し前向き調査を実施した。その結果、ACL損傷群は受傷前から動的バランス能力の特徴が示され、片脚ドロップ着地の測定はACL損傷の予測のための指標となることを示した。しかし、対象者の性別や対象人数についての問題点を挙げている。

男性競技者のACL損傷についても、接触型ではなく非接触型損傷が多いことが報告されているため（Agel et al., 2005），片脚ドロップ着地での動的バランス能力からACL損傷の発症予測が可能であることが考えられる。

そこで本研究は、片脚ドロップ着地での動的バランス能力について性差による違いを検討し、今後の男性競技者のACL損傷発症予測のための基データとする。

2. 方法

1) 研究対象期間

2018年1月から2018年3月の2ヶ月間を利用し、研究に使用するデータを所得するための実験を実施した。本研究は大阪大学医学部

の倫理審査委員会の承認を得た研究を実施した。

2) データ対象

測定時に下肢に傷害を有さないスポーツ大学に所属する学生109名を対象とした。対象者の所属は、男子サッカー部56名、男子バスケットボール27名、男子柔道部5名、女子バレーボール部9名、女子バスケットボール部12名であった。（表1）

3) 実験方法

動作課題は片脚ドロップジャンプ着地（小笠原ほか，2017）とした。対象者は高さ20cmの台の上に片脚立位姿勢を保持し、合図に合わせて前方の床反力計（type;TFP-404011A-A）にジャンプし、床反力計の中央部に同脚で着地、その後8秒間着地姿勢を保持させた。ジャンプ開始の合図は、動的バランス評価アプリケーション Ver. 1.2.5.1（有限会社テクノロジサービス）の音声ガイダンスを利用した。試技は左右脚を各5回実施し、試技間は10秒間のインターバルを確保した。試技の失敗が記録された場合は、計10回の試技後に再度失敗試技回数分を測定した。

着地後の床反力は、ソフトウェアにてサンプリング周波数1000Hzで計測し、接続されたパーソナルコンピューター内のハードディスクに保存された。

4) 解析内容

床反力データは、着地後の鉛直成分が>4Nを着地接地の瞬間としてアプリケーション

表1 対象者の身体特性

| | 身長 | 体重 |
|------------------|-------------|------------|
| 男子サッカー部（56人） | 172.9 ± 5.9 | 66.9 ± 6.3 |
| 男子バスケットボール部（27人） | 173.3 ± 6.0 | 69.0 ± 7.6 |
| 男子柔道部（5人） | 173.2 ± 6.0 | 76.4 ± 8.5 |
| 女子バレーボール部（9人） | 160.3 ± 6.8 | 57.3 ± 7.2 |
| 女子バスケットボール部（12人） | 160.0 ± 5.3 | 55.0 ± 4.6 |
| 平均±標準偏差 | | |

ン内で処理され、接地から5秒分を解析データとして切り出された。

アプリケーションにて処理されたデータ内の足圧中心（以下「COP」と略す）点及び、床反力鉛直成分の値を抽出した。上記の抽出項目より、姿勢動揺の大きさを定量化するためCOP軌跡長20ms-5s（20ms-5sの値を足長で正規化 [%]）の間の値、接地時の衝撃の値を定量化する衝撃緩衝係数（床反力成分ピーク値／床反力成分ピーク値出現時間／体重 [N／S／kg]）の値を算出した。

5) 統計処理

COP軌跡長および衝撃緩衝係数を5試技の値の平均値を用いて、男女の比較、左右脚の比較を対応のないt検定、各部活動の値の比較を一元配置分散分析、事後検定Tukey HSD法で比較検討した。各項目間の相関関係の検定にはPearsonの積率相関係数を用いた。値は全て平均±標準偏差で示し、全ての統計手法において、SPSS Statistics (version 19.0) を使用した。有意水準5%未満とした。

3. 結果

1) 男女の比較

表2に男女の片脚ドロップジャンプ着地の接地後20ms-5s間および20ms-200msのCOP軌跡長 (%) の値、衝撃緩衝係数 (N/S/kg) の値を示した。COP軌跡長は20ms-200ms間の値で男性が女性に比べ有意に大きく、衝撃緩衝係も同様に男性が女性に比べ有意に大きい値を示した。

2) 部活動別比較

2)-1 COP軌跡長

表3に部活動ごとに片脚ドロップジャンプ着地の接地後20ms-5s間のCOP軌跡長 (%), 表4に接地後20ms-200ms間のCOP軌跡長 (%) の値を活動別に利き脚、非利き脚、両脚の値を示した。全ての部活動において利き脚、非利き脚でCOP軌跡長に有意な差は認められなかったが、部活動間では20ms-200ms間でのCOP軌跡長の値に有意な差が認められた。

表2 測定項目 男女比較

| | COP軌跡長 20ms-5s (%) | COP軌跡長 20ms-200ms (%) | 鉛直成分ピーク (N/kg) | ピーク出現時間 (ms) | 衝撃緩衝係数 (N/S/kg) |
|----|-----------------------|--------------------------|-------------------|-----------------|--------------------|
| 男性 | 2.43 ± 0.29 | 0.73 ± 0.12 | 4.2 ± 0.7 | 56.0 ± 9.5 | 80.7 ± 25.7 |
| 女性 | 2.40 ± 0.44 | 0.63 ± 0.14 | 3.8 ± 0.7 | 60.5 ± 11.9 | 67.0 ± 23.4 |
| | |]* |]* |]* |]* |

* ; p<.05 平均±標準偏差

表3 部活動別COP軌跡長 20ms-5s (%)

| COP軌跡長20ms-5s (%) | 利き脚 | 非利き脚 | 両脚 |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| 男子サッカー部 | 2.43 ± 0.29 | 2.34 ± 0.29 | 2.39 ± 0.29 |
| 男子バスケットボール部 | 2.46 ± 0.30 | 2.51 ± 0.30 | 2.48 ± 0.30 |
| 男子柔道部 | 2.43 ± 0.10 | 2.65 ± 0.10 | 2.54 ± 0.28 |
| 女子バレーボール部 | 2.07 ± 0.23 | 2.34 ± 0.23 | 2.20 ± 0.46 |
| 女子バスケットボール部 | 2.48 ± 0.38 | 2.62 ± 0.38 | 2.55 ± 0.37 |
| | | | 平均±標準偏差 |

表4 部活動別COP軌跡長 20ms-200ms (%)

| COP軌跡長20ms-200ms (%) | 利き脚 | 非利き脚 | 両脚 |
|----------------------|-------------|-------------|--------------|
| 男子サッカー部 | 0.74 ± 0.11 | 0.71 ± 0.11 | 0.73 ± 0.11 |
| 男子バスケットボール部 | 0.74 ± 0.13 | 0.73 ± 0.13 | 0.74 ± 0.13 |
| 男子柔道部 | 0.72 ± 0.14 | 0.76 ± 0.14 | 0.74 ± 0.12 |
| 女子バレーボール部 | 0.59 ± 0.15 | 0.63 ± 0.15 | 0.61 ± 0.15* |
| 女子バスケットボール部 | 0.64 ± 0.15 | 0.64 ± 0.15 | 0.64 ± 0.14* |

* ; p<.05 vs. 男子サッカー, 男子バスケット

平均±標準偏差

2)ー2 衝撃緩衝係数

表4に部活動ごとに片脚ドロップジャンプ着地の衝撃緩衝係数(N/S/kg)の値を活動別に利き脚, 非利き脚, 両脚分の値を示した。全ての部活動において左右脚で有意な差は認められなかった。部活動間では, 女子バ

レーボール部が男子サッカー部, 男子バスケットボール部と比較して有意に小さい値を示した。(図1)

3) 衝撃緩衝係数とCOP軌跡長20ms-5s間の分散分布

衝撃緩衝係数とCOP軌跡長20ms-5s間の相関関係について検討を実施した。被検者全体では有意な相関関係($r=.333$; $p<.05$)を示したため(図2), 男女別で検討し, その後各部活動別に相関関係を検討した(表6)。その結果, 男子バスケットボール部, 女子バスケットボール部のみ有意な相関関係を認めた。

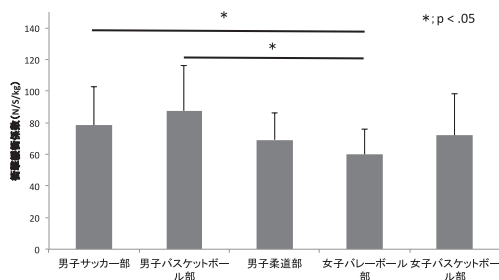


図1 衝撃緩衝係数 部活動比較

表5 部活動別衝撃緩衝係数 (N/S/kg)

| 衝撃緩衝係数 (N/S/kg) | 利き脚 | 非利き脚 | 両脚 |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|
| 男子サッカー部 | 80.6 ± 23.7 | 76.3 ± 23.7 | 78.4 ± 24.3 |
| 男子バスケットボール部 | 86.8 ± 31.4 | 88.3 ± 31.4 | 87.5 ± 28.7 |
| 男子柔道部 | 69.7 ± 21.1 | 68.8 ± 21.1 | 69.2 ± 16.7 |
| 女子バレーボール部 | 57.6 ± 11.5 | 62.3 ± 11.5 | 59.8 ± 16.3 |
| 女子バスケットボール部 | 69.5 ± 24.9 | 74.5 ± 24.9 | 72.0 ± 26.5 |

平均 ± 標準偏差

表6 衝撃緩衝係数とCOP軌跡長 20ms-5sの相関関係

| | | COP軌跡長 (%) |
|--------------------|-------------|------------|
| 衝撃緩衝係数 (N/S/kg) | 全体 | 0.333* |
| | 男性 | 0.246 |
| | 女性 | 0.452* |
| | 男子サッカー部 | 0.110 |
| | 男子バスケットボール部 | 0.462* |
| | 男子柔道部 | 0.198 |
| | 女子バレーボール部 | 0.425 |
| | 女子バスケットボール部 | 0.431* |

*; $p<.05$

表7 衝撃緩衝係数とCOP軌跡長 20ms-200msの相関関係

| | | COP軌跡長 (%) | |
|--------------------|-------------|------------|----------|
| | | 20ms-200ms | 200ms-3s |
| 衝撃緩衝係数 (N/S/kg) | 全体 | 0.678* | 0.289* |
| | 男性 | 0.637* | 0.296* |
| | 女性 | 0.768* | 0.441* |
| | 男子サッカー部 | 0.630* | 0.200* |
| | 男子バスケットボール部 | 0.692* | 0.468* |
| | 男子柔道部 | 0.482 | 0.260 |
| | 女子バレーボール部 | 0.859* | 0.479 |
| | 女子バスケットボール部 | 0.769* | 0.584* |

*; $p<.05$

4) 衝撃緩衝係数とCOP軌跡長20ms-200ms, 200ms-3s間の相関関係

衝撃緩衝係数とCOP軌跡長の関係性について詳細に検討するため、20ms-5s間の値を細分化し、20ms-200ms間及び200ms-3s間のCOP軌跡長の相関関係について検討を実施した。

被検者全体では20ms-200ms 間、200ms-3s間のCOP軌跡長と衝撃緩衝係数に有意な相関関係を示した。男女別、各部活動別で同様に相関関係を検討した。その結果、男子柔道部、女子バレーボール部では相関関係は認められなかったが、その他の部活では有意な相関係数が認められた。(表7)

4. 考察

本研究は動的バランス能力の指標として片脚ドロップ着地を用い、性差による違いを検討することを目的とした。

1) 男女間の比較

動的な下肢のキネマティクスは性別により異なることが報告されている (Ford et al., 2010). Kiriya et al. (2009) はshingle-legged drop landingにおいての下肢キネマティクスが男女で異なることを示した。本研究において、片脚ドロップ着地でのCOP軌跡長、衝撃緩衝係数の値は各競技間ではなく性差による違いが示された。これらは、各競技の動作特性以上に性別の違いが動的なバランス能力に影響していることが考えられる。

またACL損傷のリスクとして下肢の動的

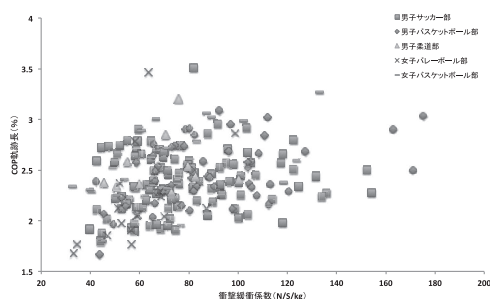


図2 衝撃緩衝係数とCOP軌跡長 全体分布

キネマティクスや (Olsen et al., 2004), 女性競技者の着地時の膝関節屈曲角度の減少、高い床反力もACL損傷などが挙げられる (Leppänen et al., 2017). 小笠原ら (2005) は、片脚着地時の膝関節屈曲角度、角速度ともに男性が女性に比べ小さいことを報告している。膝関節角度の屈曲角度が小さいということは、地面からの反力をより強く受けることが想定される。本研究では男性が女性に比べ、床反力、衝撃緩衝係数ともに高い値を有している。よって、男性は女性に比べ片脚着地時に膝関節に強い負荷を受けている可能性が挙げられる。しかし、ACL損傷の発生は男性に比べ女性で高い発生率を有する事から、男性の床反力が女性に比べ高い事は、単にACL損傷のリスクが高いとする事はできない。

2) 衝撃緩衝係数とCOP軌跡長の相関関係について

被検者全体を対象とした、衝撃緩衝係数と20ms-5s間のCOP軌跡長は相関関係が認められた。そこでCOP軌跡長の時間について細分化し、着地初期の20ms-200ms間および初期以降から姿勢が安定する200ms-3s間に分け衝撃緩衝係数との関係性について検討を行った。本研究では、COP軌跡長について20ms-3s間の時点で20ms-5s間の値の平均80%の値を有していたため姿勢が安定した時間として検討した。

20ms-200ms間のCOP軌跡長と衝撃緩衝係数について、被検者全体、男女、および柔道部を除いた各部活動で高い相関関係が認められた。また、姿勢安定までの200ms-3s間のCOP軌跡長についても、被検者全体、男女、および柔道部と女子バレーボール部を除いた部活動で相関関係が認められた。本結果は、衝撃緩衝係数が高いものは、着地後の姿勢安定までの重心の動揺が大きいということを示す。

片脚着地動作では男女間で股関節内旋、屈

曲角度が異なることが報告されている。(McLean et al., 2007; Brown et al., 2009) また、男性は大臀筋の活動が高い (Zazulak et al., 2005) と報告されていることから、着地動作では男女間で姿勢戦略が異なることが想定される。しかし、本研究では衝撃緩衝係数とCOP軌跡長の関係性は男女で同様の関係性が示されている。このことから、片脚ドロップ着地での着地後の重心の安定性に対しての要因は男女で異なる可能性が考えられる。

3) まとめ

本研究から、男性は女性に比べ片脚着地時の衝撃緩衝係数が高いことが示された。更に、接地後20msから200ms間でのCOP軌跡長についても女性より大きいことを示した。

女性を対象とした研究では、ACL損傷群は非損傷群に比べ片脚ドロップ着地での衝撃緩衝係数が高いもしくは小さいことが報告されている (小笠原ほか, 2017)。よって衝撃緩衝係数の値が高値である男性は、ACL損傷を発症するリスクを有している可能性が考えられる。しかし、男性と女性では着地時の姿勢制御戦略が考えられるため、今後男性を対象とした前向き調査を実施し、ACL損傷の発症リスクの検討を行う必要性が挙げられる。

引用文献

- Agel, J., Arendt, E. A., and Bershadsky, B. (2005). Anterior cruciate ligament injury in national collegiate athletic association basketball and soccer: a 13-year review. *The American journal of sports medicine*, 33(4), 524-531.
- Brown, T. N., Palmieri-Smith, R. M., and McLean, S. G. (2009). Differences between Sexes and Limbs in Hip and Knee Kinematics and Kinetics during Anticipated and Unanticipated Jump Landings: Implications for ACL injury. *British journal of sports medicine*.
- Ford, K. R., Shapiro, R., Myer, G. D., Van Den Bogert, A. J., and Hewett, T. E. (2010). Longitudinal sex differences during landing in knee abduction in young athletes. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(10), 1923.
- Kiriyama, S., Sato, H., and Takahira, N. (2009). Gender differences in rotation of the shank during single-legged drop landing and its relation to rotational muscle strength of the knee. *The American journal of sports medicine*, 37(1), 168-174.
- Leppänen, M., Pasanen, K., Kujala, U. M., Vasankari, T., Kannus, P., Äyrämö, S., and Parkkari, J. (2017). Stiff landings are associated with increased ACL injury risk in young female basketball and floorball players. *The American journal of sports medicine*, 45(2), 386-393.
- McLean, S. G., Fellin, R. E., Suedekum, N., Calabrese, G., Passerallo, A., and Joy, S. (2007). Impact of fatigue on gender-based high-risk landing strategies. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(3), 502-514.
- 小笠原一生・宮永豊・白木仁・向井直樹・竹村雅裕・八十島崇・宮川俊平. (2006). 片脚着地時に見られた下肢 kinematics の性差. *体力科学*, 55(4), 403-412.
- 小笠原一生・小柳好生・木村佳記・杉山恭二・佐藤睦美・川上由紀子・中田研. (2017). 片脚着地時の姿勢戦略に基づく非接触型前十字靭帯損傷の潜在的リスク同定. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 25(3), 346-353.
- Olsen, O. E., Myklebust, G., Engebretsen, L., & Bahr, R. (2004). Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: a systematic video analysis. *The American journal of sports medicine*, 32(4), 1002-1012.
- Zazulak, B. T., Ponce, P. L., Straub, S. J., Medvecky, M. J., Avedisian, L., & Hewett, T. E. (2005). Gender comparison of hip muscle activity during single-leg landing. *Journal of*

Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 35
(5), 292-299.