

大学女性バレーボール選手における片脚側方ドロップ着地中の垂直床反力の左右差

Side-to-side differences in vertical ground reaction force during single-leg lateral drop landing in female collegiate volleyball athletes

打越健太*^{1,2}, 大路駿介*², 相澤純也*^{2,3}
川崎智子*^{2,4}, 廣幡健二*², 大見武弘*²
小笠原一生*⁵, 柳下和慶*², 中田 研*⁵

キー・ワード : volleyball, landing impact, side-to-side differences
バレーボール, 着地衝撃, 左右差

【要旨】 【背景】 女性バレーボールのアタッカーの選手では片脚着地中に前十字靭帯損傷が発生しやすい。前十字靭帯損傷予防のためのスクリーニングでは片脚側方着地中の衝撃の左右差が着目されている。しかし、バレーボール選手におけるポジション別の片脚着地中の衝撃の左右差は不明である。【目的】 大学女性バレーボール選手をアタッカーと非アタッカーに分け、各々のポジションで片脚側方ドロップ着地中の衝撃の左右差を分析し、着地動作の評価、指導に役立つ情報を得ることとした。【方法】 大学女性バレーボール選手 36 名を対象に、20cm の高さからの片脚側方ドロップ着地中の垂直床反力最大値、初期接地から垂直床反力最大値までにかかる時間、Loading rate を計測した。ポジション別に特徴を分析するため、対象をアタッカー群と非アタッカー群に分けた。全対象者およびアタッカー群と非アタッカー群の各々における床反力パラメーターの左右差を対応のある t 検定を用いて分析した。【結果】 アタッカー群でのみ垂直床反力最大値と Loading rate で有意な左右差があった。【結語】 大学女性バレーボール選手の側方着地中の衝撃の左右差の評価では、プレー特性を考慮してポジション別に分析することが重要である。

緒言

大学女性バレーボール選手では、スパイクやブロックの後の片脚着地で前十字靭帯 (Anterior Cruciate Ligament : 以下 ACL) 損傷が発生しやすい^{1,2)}。着地中の垂直床反力 (Vertical Ground Reaction Force : 以下 VGRF) の過度な増大は、脛骨近位の前方引き出しや内旋に作用し ACL スト

レインの増大につながることを報告されている³⁻⁵⁾。バレーボール選手を含む健常女性アスリートを対象とした前向きコホート研究では、ACL 損傷群は非損傷群よりも着地中の垂直床反力最大値 (Peak VGRF : 以下 pVGRF) が大きかった⁶⁾。これらのことから、バレーボール選手の ACL 損傷予防に向けたリスクファクターのスクリーニングでは着地衝撃に着目することが重要といえる。

女性バレーボール選手における ACL 損傷の発生率は左右で異なる²⁾。健常アスリートでは片脚前方ドロップ着地中の pVGRF が左右で異なり⁷⁾、着地中の pVGRF は男性よりも女性で大きいことが報告されている⁸⁾。これらのことから、女性バレー

*1 国立病院機構災害医療センターリハビリテーション科

*2 東京医科歯科大学スポーツ医歯学診療センター

*3 順天堂大学保健医療学部理学療法学科

*4 広尾整形外科

*5 大阪大学大学院医学系研究科健康スポーツ科学講座

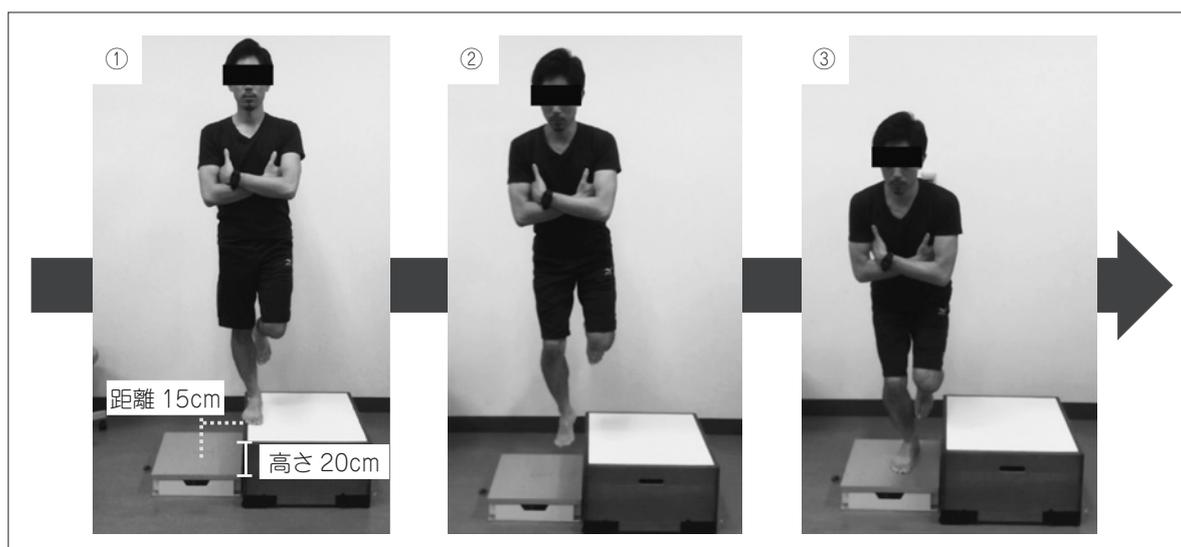


図1 片脚外側方ドロップ着地課題
高さ 20cm のステップ台から 15cm 外側方にあるフォースプレート中心部へ片脚着地する。

ボール選手の ACL 損傷予防に向けた着地衝撃の評価では、pVGRF の左右差に着目することが重要といえる。

バレーボール選手はスパイクやブロックの後ではどちらかの片脚が先行して着地することが多く⁹⁾、トスの後では両脚がほぼ同時に着地することが多い¹⁰⁾。スパイクやブロックのプレーが多いアタッカーの選手では、他のポジションの選手と比べてプレー中の着地頻度が左右で偏りやすいため、VGRF のような運動力学的変数においても左右差が潜在していることが考えられる。そのため、プレー特性を考慮してポジション別に着地衝撃の左右差を明らかにすることが重要と考えられるが、このような報告は過去にない。

ネット付近でのスパイクやブロックにおいて選手は前方だけでなく側方に移動しながら着地することが多い^{11,12)}。側方着地では前方着地中よりも pVGRF や脛骨前方剪断力、膝最大外反角度が大きく、ACL 損傷のリスクが高いとされている^{13,14)}。バレーボール選手において、片脚側方着地中の VGRF パラメーターには左右差がないことが報告されているが¹⁵⁾、スパイクやブロックのプレーが多いアタッカーの選手と他のポジションの選手に分けてこれらの値の左右差を分析した報告はない。

本研究の目的は、大学女性バレーボール選手をアタッカーと非アタッカーのポジションで分け、各々のポジションで片脚側方着地中の VGRF パ

ラメーターの左右差を明らかにし、着地動作の評価、指導に役立つ情報を得ることとした。着地パターンが習慣的に左右で偏りやすいと思われるアタッカーでは VGRF の大きさが左右で異なるという仮説を立てた。

■ 対象および方法

対象は関東大学バレーボール連盟 1 部チームに所属する健常女性選手のうち、計測を終了した 39 名とした。対象者の基本属性として、年齢、身長、体重、ポジション、利き手、利き脚を聴取した。利き脚については、「前方向へ転倒しそうなときに先に前に出しやすい脚は左右どちらですか？」という質問で対象者本人より聴取した。

除外基準は計測の過去半年以内に体幹、下肢に整形外科的または神経学的な既往を有する者、手術歴を有する者、ジャンプ着地中に恐怖心や痛みを訴える者とした。計測を開始する前にすべての対象者にヘルシンキ宣言の精神に基づき作成した参加説明書及び同意書の内容を口頭と書面で説明し、研究参加の同意を得た。本研究は倫理審査委員会の承認を得た後に開始した（承認番号：M 2016-054）。

計測課題は、高さ 20cm のステップ台から 15cm 外側方にあるフォースプレート中心部への片脚外側方ドロップ着地とした（図 1）。右脚の計測では右脚での片脚立ちから右側方に設置したフォースプレートに右脚で片脚着地をさせ、左脚の計測で

表 1 対象者の基本属性

	全対象者 (n=36)	アタッカー群 (n=20)	非アタッカー群 (n=16)
年齢 (歳)	19.8±1.0	19.9±1.0	19.6±1.0
身長 (cm)	166.3±6.7	170.3±5.6	160.9±5.8
体重 (kg)	60.1±6.6	63.2±5.7	56.6±5.2
BMI	21.7±1.5	21.8±1.7	21.8±1.8
利き手	右 36名/左 0名	右 20名/左 0名	右 16名/左 0名
利き脚	右 36名/左 0名	右 20名/左 0名	右 16名/左 0名

平均値±標準偏差. BMI: body mass index.

は左脚での片脚立ちから左側方に設置したフォースプレートに左脚で片脚着地をさせた。課題は裸足で行わせた。

対象者の計測開始肢位は、ステップ台での片脚立位とした。上肢運動による影響を最小限にとどめるため、運動課題中は両上肢を胸の前で交差させた。対象者には可能な限りフォースプレートを目視せず、上方へのジャンプを最小限にし、フォースプレートの中心部に片脚で着地するように指示した。着地後は着地姿勢を8秒間保つように指示した。対象者にセルフストレッチングを5分間実施させた後、計測課題の方法をデモンストレーションと口頭指示で説明した。その後、右脚と左脚での課題をそれぞれ3回ずつ練習させた。着地後に8秒間姿勢を保てず遊脚側の足底が接地した場合、着地後にフォースプレート上でホップした場合、足底部が明らかにずれた場合は分析対象から除外した。本計測は右脚、左脚の順にそれぞれ6回実施した。

片脚着地中のVGRFはフォースプレート(TFP-4040A, Technology Service, Nagano, Japan)と動的バランス評価ソフト(SS-FPSW01, スポーツセンシング, Fukuoka, Japan)を使用して計測・抽出した。フォースプレートのサンプリング周波数は1,000Hzとし、VGRFは遮断周波数70HzのLow pass butterworth filterによって平滑化し、体重で正規化した。VGRFパラメーターとしてpVGRF、初期接地(Initial Contact 以下: IC)からpVGRFまでにかかる時間(以下: Time to pVGRF)、pVGRFをTime to pVGRFで除したLoading rate(以下: LR)を算出した。ICはVGRFが10Nを超えた時点と定義した。

分析対象は、6回の計測のうち3回分の値の平均とした。6回の計測で成功課題を3回計測できなかった対象者は分析から除外した。VGRFの左

右差をポジション別に分析するために、ポジション情報をもとにアタッカー群(ライト, レフト, センター)と非アタッカー群(リベロ, セッター)に分けた。全対象者、アタッカー群、非アタッカー群の各々におけるVGRFパラメーターの左右差を対応のあるt検定で分析した。統計学的分析にはSPSS ver.26(IBM Corp, Armonk, NY, USA)を使用し、有意水準は5%とした。平均値の差を標準化するために全項目の効果量(Cohenのd)を算出した。

結 果

本研究では、計測を終えた39名のうち3名が分析対象から除外され、分析対象者は36名であった。ポジションの内訳は、アタッカー群は20名、非アタッカー群は16名であった(表1)。全対象者の利き手、利き脚は右であった(表1)。全対象者の利き脚が右脚であったため、結果や考察の表記は右脚または左脚とした。VGRFパラメーターの記述統計値と左右の比較結果を表2~4に示す。全対象者の分析では各VGRFパラメーターに有意な左右差はなかった。群ごとのpVGRFの分析ではアタッカー群の右脚が 342.8 ± 63.2 (%BW)、左脚が 365.0 ± 45.6 (%BW)で有意な左右差があった($p = .04, d = 0.4$)。群ごとのLRの分析ではアタッカー群の右脚が 4.4 ± 1.4 (%BW/ms)、左脚が 4.8 ± 1.2 (%BW/ms)で有意な左右差があった($p = .04, d = 0.3$)。非アタッカー群のpVGRFとLRの分析では左右差はなかった。群ごとのTime to pVGRFの分析では両群ともに有意な左右差は認めなかった。

考 察

大学女性バレーボール選手をアタッカー群と非アタッカー群に分け、各々のポジションで片脚側

表 2 全対象者の片脚側方ドロップ着地中の床反力パラメーターの左右比較

床反力パラメーター	右脚	左脚	効果量 (d)
pVGRF (%BW)	362.8±63.2	380.6±53.6	0.3
Time to pVGRF (ms)	75.4±12.5	75.5±9.9	0.1
Loading rate (%BW/ms)	5.0±1.7	5.2±1.3	0.1

平均値±標準偏差. BW: body weight; pVGRF: peak vertical ground reaction force; Time to pVGRF: 初期接地から pVGRF までにかかる時間; Loading rate: pVGRF/Time to pVGRF.

表 3 アタッカー群の片脚側方ドロップ着地中の床反力パラメーターの左右比較

床反力パラメーター	右脚	左脚	効果量 (d)
pVGRF (%BW) *	342.8±63.2	365.0±45.6	0.4
Time to pVGRF (ms)	79.7±11.0	77.5±10.2	0.2
Loading rate (%BW/ms) *	4.4±1.4	4.8±1.2	0.3

平均値±標準偏差. BW: body weight; pVGRF: peak vertical ground reaction force; Time to pVGRF: 初期接地から pVGRF までにかかる時間; Loading rate: pVGRF/Time to pVGRF. *: p<.05

表 4 非アタッカー群の片脚側方ドロップ着地中の床反力パラメーターの左右比較

床反力パラメーター	右脚	左脚	効果量 (d)
pVGRF (%BW)	390.7±53.8	402.5±56.9	0.2
Time to pVGRF (ms)	68.8±11.8	71.9±8.8	0.3
Loading rate (%BW/ms)	5.9±1.6	5.9±1.4	0.1

平均値±標準偏差. BW: body weight; pVGRF: peak vertical ground reaction force; Time to pVGRF: 初期接地から pVGRF までにかかる時間; Loading rate: pVGRF/Time to pVGRF.

方着地中の VGRF パラメーターの左右差を分析した. アタッカー群でのみ pVGRF と LR に左右差を認めた. 本研究の結果は, アタッカーの片脚側方ドロップ着地中の衝撃が左右で異なるという仮説を支持した.

試合中の跳躍回数をポジション別に調査した研究によれば, 全跳躍のうちスパイクやブロックのための跳躍回数はアタッカーでは全体の約 8 割であるのに対して, セッターでは約 3 割であり, レシーバーではスパイクやブロックの跳躍を認めなかった¹⁶⁾. スパイクやブロック後の着地では半数近くがどちらかの足が先行して着地しており¹⁰⁾, スパイク後の着地では左右で着地頻度が偏りやすい⁹⁾. ブロック後の着地では膝の屈曲や外反角度が左右で異なる¹⁷⁾. このように, アタッカーの選手では試合や練習で習慣的に左右いずれかの下肢に偏った着地になり, スパイクやブロックの後の着地姿勢が左右で異なることが多い. 以上のことから,

アタッカー群の片脚側方着地中の衝撃が左右で異なった理由として, アタッカー群と非アタッカー群のプレー特性の違いが影響したと考えられる.

Aizawa ら¹⁸⁾は, ジャンプ着地やカッティングの頻度が多いスポーツに参加する女性アスリートを対象とした研究で, 片脚側方着地中の pVGRF には左右差がないことを明らかにした. Sinsurin ら¹⁵⁾は, 大学女性バレーボール選手では, 片脚側方着地中の pVGRF に左右差がないことを報告した. これらの研究では, 対象者の選択で競技種目やプレー特性を考慮しておらず, バレーボール選手におけるポジション別の片脚側方着地中の VGRF パラメーターの特徴は明らかではない. 本研究ではこれらの過去の報告と同様に全対象者の分析では VGRF パラメーターに左右差を認めなかった. しかし, ポジション別の分析ではアタッカー群の VGRF パラメーターが左右で異なっ

いた。これらのことから、本研究では片脚側方ドロップ着地中の衝撃の評価では、競技種目やポジションによるプレー特性を考慮した左右の比較が重要であることが示された。

本研究の結果、アタッカー群の着地中の pVGRF は右脚が 342.8 (%BW)、左脚が 365.0 (%BW) であり、左脚の VGRF が約 22% 高かった。右利きのバレーボール選手では、スパイク後に左片脚着地になる^{9,10)} ことが多く、左側の ACL 損傷が多い²⁾。ACL ストレインと pVGRF が正の相関関係にある^{3~5)} ことから、左脚着地での pVGRF が過大になりやすいことが示唆された。アタッカーの選手への衝撃緩衝の指導において、左脚での外側方ドロップ着地中の pVGRF の大きさに着目することが ACL 損傷予防の観点から重要かもしれない。

大学女性バレーボールのアタッカーの選手では、ACL 損傷の発生率が他のポジションの選手と比べて高いことやその発生率に左右差があることが報告されている^{1,2)}。そのため、アタッカーの選手では ACL 損傷を含めた下肢スポーツ外傷の予防に向けて、床反力計や加速度計などにより片脚側方着地中の衝撃を定期的に評価することがリスクファクターをスクリーニングするための一つの方法として考えられる。健常大学女性バレーボール選手における片脚側方ドロップ着地中の VGRF パラメーターを評価する際に、本研究の対象と属性が同様であれば、平均値を参考にすることができるかもしれない。

本研究では対象を大学女性バレーボール選手に限定したため、性別や競技レベルの結果への影響は不明である。本研究は VGRF パラメーターの左右の比較に留まっており、これらの値に大小関係が生じた要因は不明である。着地中の pVGRF は着地中の下肢屈曲角度と負の相関関係を示す^{19,20)}。そのため、着地中の下肢関節角度を含めた運動学的変数についても分析する必要がある。今後は、アタッカーの選手の ACL 損傷と片脚側方ドロップ着地中の衝撃の左右差との関連性を検討する必要がある。

結 語

大学女性バレーボール選手のアタッカー群と非アタッカー群における片脚側方ドロップ着地中の VGRF パラメーターの左右差を分析した。アタッ

カー群でのみ pVGRF と LR に統計学的に有意な左右差を認めた。大学女性バレーボール選手の片脚側方ドロップ着地における着地衝撃の左右差の評価では、プレー特性を考慮してポジション別に分析することが重要である。

謝 辞

本研究はスポーツ庁のスポーツ研究イノベーション拠点形成プロジェクトの助成を受け実施したものである。

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) Agel J, Palmieri-Smith RM, Dick R, et al. Descriptive epidemiology of collegiate women's volleyball injuries: National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System, 1988-1989 through 2003-2004. *Journal of Athletic Training*. 2007; 42: 295-302.
- 2) Devetag F, Mazzilli M, Benis R, et al. Anterior cruciate ligament injury profile in Italian Serie A1-A2 women's volleyball league. *J Sports Med Phys Fitness*. 2018; 58: 92-97.
- 3) Cerulli G, Benoit DL, Lamontagne M, et al. In vivo anterior cruciate ligament strain behaviour during a rapid deceleration movement: case report. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2003; 11: 307-311.
- 4) Yu B, Lin CF, Garrett WE. Lower extremity biomechanics during the landing of a stop-jump task. *Clin Biomech*. 2006; 21: 297-305.
- 5) Meyer EG, Haut RC. Anterior cruciate ligament injury induced by internal tibial torsion or tibiofemoral compression. *J Biomech*. 2008; 41: 3377-3383.
- 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*. 2005; 33: 492-501.
- 7) Britto MA, France PS, Pappas E, et al. Kinetic asymmetries between forward and drop jump landing tasks. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum*. 2015; 17: 661-671.
- 8) Schmitz RJ, Kulas AS, Perrin DH, et al. Sex differences in lower extremity biomechanics during single leg landings. *Clin Biomech*. 2007; 22: 681-688.

- 9) Lobietti R, Coleman S, Pizzichillo E, et al. Landing techniques in volleyball. *J Sports Sci.* 2010; 28: 1469-1476.
- 10) Tillman MD, Hass CJ, Brunt D, et al. Jumping and landing techniques in elite women's volleyball. *J Sports Sci.* 2004; 3: 30-36.
- 11) Zahradnik D, Jandacka D, Holcapek M, et al. Blocking landing techniques in volleyball and the possible association with anterior cruciate ligament injury. *J Sports Sci.* 2018; 36: 955-961.
- 12) Zaahalka F, Maly T, Mala L, et al. Kinematic analysis of volleyball attack in the net alenter with various types of take-off. *J Hum Kinet.* 2017; 58: 261-271.
- 13) Sinsurin K, Vachalathiti R, Jalayondeja W, et al. Altered peak knee valgus during jump-landing among various directions in basketball and volleyball athletes. *Asia J Sports Med.* 2013; 4: 195-200.
- 14) Sell TC, Ferris CM, Abt JP, et al. The effect of direction and reaction on the neuromuscular and biomechanical characteristics of the knee during tasks that simulate the noncontact anterior cruciate ligament injury mechanism. *Am J Sports Med.* 2006; 34: 43-54.
- 15) Sinsurin K, Srisangboriboon S, Vachalathiti R. Side-to-side differences in lower extremity biomechanics during multi-directional jump landing in volleyball athletes. *European J Sport Science.* 2017; 17: 699-709.
- 16) 岡野憲一, 谷川 聡. バレーボール国内男子トップリーグの試合中における跳躍頻度に関する研究. *バレーボール研究.* 2016; 18: 27-31.
- 17) Hughes G, Watkins J, Owen N, et al. Gender differences in knee kinematics during landing from volleyball block jumps. *J Human Movement Studies.* 2007; 52: 1-20.
- 18) Aizawa J, Hirohata K, Ohji S, et al. Limb dominance and gender differences in the ground reaction force during single-leg lateral jump-landings. *J Phys Ther Sci.* 2018; 30: 387-392.
- 19) Aizawa J, Ohji S, Koga H, et al. Correlations between sagittal plane kinematics and landing impact force during single-leg lateral jump-landings. *J Phys Ther Sci.* 2016; 28: 2316-2321.
- 20) Ohji S, Aizawa J, Hirohata K, et al. Correlations Between Vertical Ground Reaction Force, Sagittal Joint Angles, and the Muscle Co-Contraction Index During Single-Leg Jump-Landing. *Asian J Sports Med.* 2019; 10: e81771 doi: 10.5812/asjism.81771.

(受付：2020年9月18日、受理：2021年8月18日)

Side-to-side differences in vertical ground reaction force during single-leg lateral drop landing in female collegiate volleyball athletes

Uchikoshi, K.^{*1,2}, Ohji, S.^{*2}, Aizawa, J.^{*2,3}
Kawasaki, T.^{*2,4}, Hirohata, K.^{*2}, Ohmi, T.^{*2}
Ogasawara, I.^{*5}, Yagishita, K.^{*2}, Nakata, K.^{*5}

^{*1} Rehabilitation Center, National Hospital Organization Disaster Medical Center

^{*2} Clinical Center for Sports Medicine and Sports Dentistry, Tokyo Medical and Dental University

^{*3} Department of Physical Therapy, Faculty of Health Science, Juntendo University

^{*4} Hiro-o Orthopedics Clinic

^{*5} Health and Sport Sciences, Osaka University Graduate School of Medicine

Key words: volleyball, landing impact, side-to-side differences

[Abstract] [Background] Anterior cruciate ligament (ACL) injuries often occur during single-leg landing in female volleyball attackers. As a screening strategy to prevent ACL injuries, side-to-side differences in landing impact during single-leg lateral landing have been investigated. However, side-to-side single-leg landing impact differences in multiple positions among volleyball athletes are not known.

[Purpose] The present study was aimed to identify side-to-side landing impact differences during single-leg lateral drop landings in collegiate female volleyball athletes divided into attacker and non-attacker groups.

[Method] Thirty-six female collegiate volleyball athletes performed single-leg lateral drop landing from a height of 20 cm. The magnitude of the peak vertical ground reaction force (pVGRF), the time from initial contact to pVGRF, and the loading rate during landing were measured. A paired t-test was used to analyze all subjects, as well as the attacker and non-attacker groups, for side-to-side comparison of the ground reaction force parameters.

[Result] There were only significant side-to-side differences in pVGRF and loading rate in the attacker group.

[Conclusion] These findings demonstrate that it is important to compare side-to-side landing impact in consideration of position and playing characteristics when evaluating lateral landing in female collegiate volleyball athletes.