

## 片脚および両脚着地時の下肢関節角度と筋活動

### *Comparison of Knee Kinematics and Muscle Activity of the Lower Extremities between Single and Double Leg Drop Landing*

根地嶋 誠<sup>1,2)</sup> 浦辺 幸夫<sup>2)</sup> 横山 茂樹<sup>1)</sup>

MAKOTO NEJISHIMA, PT<sup>1,2)</sup>, YUKIO URABE, PT, PhD<sup>2)</sup>, SHIGEKI YOKOYAMA, PT<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Rehabilitation Sciences, Seirei Christopher University: 3453 Mikatahara, Kita-Ku, Hamamatsu, Shizuoka 433-8558, Japan. TEL +81 53-439-1400

<sup>2)</sup> Department of Sports Rehabilitation, Graduate School of Health Sciences, Hiroshima University

*Rigakuryoho Kagaku* 23(3): 447-451, 2008. Submitted Nov. 13, 2007. Accepted Feb. 18, 2008.

**ABSTRACT:** [Purpose] The purpose of this study was to determine the effect of two different drop landing tasks on knee kinematics and muscle activities. [Subjects] Nine healthy males participated in this study. [Methods] The subjects performed two different drop landing tasks from a box (height, 30 cm), with the dominant leg and both legs. A motion analysis system was used to obtain knee valgus and maximal flexion angles in the frontal and sagittal planes. An electromyography system was used to record muscle activities of the lower extremities during the drop landing task. [Results] Single leg landing increased the knee valgus angle, decreased the knee flexion angle, and increased the activity of the lower extremity muscles as compared to double leg landing. [Conclusion] Increased knee valgus angle and decreased knee flexion angle with single leg landing may be related to the increased risk of anterior cruciate ligament injury.

**Key words:** drop landing, knee joint angle, electromyography

**要旨:** [目的] 本研究の目的は、片脚および両脚着地における膝関節角度と下肢筋活動の相違を検証することである。[対象] 健康男性9名とした。[方法] 高さ30 cmの台から片脚と両脚による着地動作を行った。関節角度は、矢状面上の膝屈曲角度と前額面上の膝外反角度を算出した。筋活動は、中殿筋、大内転筋、大腿直筋、内側広筋、半膜様筋、大腿二頭筋について記録した。[結果] 片脚着地は両脚着地より、有意に膝屈曲角度が小さく、膝外反角度は大きかった。片脚着地の筋活動は、すべての筋で両脚着地より有意に増加した。特に中殿筋は、片脚着地が両脚着地の約3倍を示した。[結語] 片脚着地は両脚着地より膝屈曲角度が減少し外反角度が増加するため、前十字靭帯損傷のリスクが高まるものと推察された。

**キーワード:** 着地動作, 膝関節角度, 筋電図

<sup>1)</sup> 聖隷クリストファー大学 リハビリテーション学部: 静岡県浜松市北区三方原町3453 (〒433-8558) TEL 053-439-1400

<sup>2)</sup> 広島大学大学院 保健学研究科

## I. はじめに

膝前十字靭帯 (ACL) 損傷は、本邦において年間2~3万件発生すると推定され<sup>1)</sup>、スポーツ外傷の中でも発生頻度が高く、岩噌らの調査では足関節捻挫に次いで4番目に多い外傷であったと報告されている<sup>2)</sup>。ACL損傷は、ひとたび受傷すると高いレベルでのスポーツ活動を継続するのが困難となり、再建術を要する場合が多い。さらに競技復帰までに相応の時間を要するため、スポーツ現場ではACL損傷予防が重要な課題となっている。

ACL損傷を予防する方略のひとつとして受傷機転の解明があり、受傷時のビデオ解析やアンケート調査<sup>3,4)</sup>、ACLに加わるstrainや膝剪断力などの測定が行われてきた<sup>5-7)</sup>。生体力学的解析としてはジャンプからの着地動作を用いたものが多数報告されている。その際、受傷時の肢位は膝外反位であり<sup>3,4)</sup>、この肢位での股関節の関与が指摘されているため<sup>8-10)</sup>、ジャンプや落下による着地動作の解析では膝および股関節の関節角度や筋活動に注目が向けられている。着地動作の実験方法としては、片脚着地動作で行っているものと<sup>9,11-14)</sup>、両脚着地動作で行っているものがある<sup>15-17)</sup>。これらの多くの研究は性差について検討されており、片脚着地動作においてRussellらは、女性は男性より外反角度が大きかったとしている<sup>11)</sup>。Naganoらは、膝関節内旋角度は女性が大きかったが外反角度には男性との差が認められなかったとしている<sup>12)</sup>。両脚着地動作では、Fordらが膝関節外反角度と外反方向への変化量は女性が大きかったと報告している<sup>17)</sup>。

Bodenらは、一般的なACL損傷パターンに片脚着地動作をあげているが<sup>3)</sup>、両脚着地動作においても損傷する場面がある<sup>18)</sup>。筆者らは両者の間には生体力学的な相違があるものと推察しているが、これまでの分析や報告ではいずれも片脚か両脚かのどちらかで行われているため、片脚と両脚の相違は明らかになってはいない。

本研究では、三次元動作解析装置と筋電図を用い、台からの落下による片脚着地動作と両脚着地動作における膝関節角度および下肢筋活動の相違について検証することを目的とした。本研究の仮説として、両脚着地動作よりも片脚着地動作の膝外反角度は大きくなると考えた。

## II. 対象と方法

対象は、本研究の趣旨に同意を得た健常男性9名である。年齢(平均±標準偏差)は20.4±0.3歳、身長は173.3

±7.6 cm、体重は66.3±8.2 kgであった。いずれの対象も、下肢および腰部に整形外科的疾患がなく、着地動作時に疼痛などが無い者とした。

着地動作における膝関節角度の測定には、2台の赤外線カメラによる三次元動作解析システムMA-2000s(サンプリング周波数60 Hz, アニマ社製)を使用した。反射マーカを両面テープにより利き脚の大転子、膝関節裂隙外側、外果に貼付した。

筋活動の測定には筋電図システムTele Myo 2400(Noraxon社製)を用い、サンプリング周波数を1500 Hzとした。被験筋を内側広筋、大腿直筋、半腱様筋、大腿二頭筋、中殿筋、大内転筋とし、研磨剤およびアルコール綿による皮膚処置後、電極中心間距離を30mmとして電極Blue Sensor M-00-S(Ambu社製)を貼付した。電極貼付位置は文献を参考に<sup>12,19,20)</sup>、内側広筋は上前腸骨棘から膝蓋骨中央に引いた線から内側に35度開いた線上で膝蓋骨から4横指、大腿直筋は上前腸骨棘から膝蓋骨中心に引いた線上の中央、半腱様筋は坐骨結節から脛骨内側顆内側部に引いた線上の遠位1/3、大腿二頭筋は坐骨結節から腓骨頭に引いた線上の遠位1/3、中殿筋は腸骨稜中央と大転子を結んだ線上の中央、大内転筋は恥骨下枝から内転筋結節に引いた線上の近位1/4とした。また、貼付した電極およびコードがずれたり剥がれたりしないよう、サージカルテープにより運動を妨げない位置に固定した。なお、動作と筋電図を同期させるために、足底接地時間が確認できるように、足底(母趾底側、第1・5指節間関節、踵球)にフットスイッチをサージカルテープにて固定し、その信号をTele Myo 2400に入力した。

測定する着地動作は、高さ30 cmの台から落下し片脚と両脚により着地するものとした(図1)。片脚着地動作に使用した脚は利き脚とし、本実験の利き脚の定義としては、ボールを蹴る側の下肢とした。片脚着地では、足部を肩幅に広げた立位から片脚となり、片脚立位が安定してから検査者の合図により地面へ着地した。両脚着地では、前額面において左右の上前腸骨棘と第2趾が一致するように足部を広げた立位から、検査者の合図により地面へ着地した。いずれの着地動作も、台上にある身体の位置がそれ以上高くさせないために、天板より上方へ跳び上がらないよう注意し、前方へ落下させた。また、上肢は肘を屈曲し胸の前で固定させた。測定回数は、2秒以静止できた試技を5回行った。なお、実験開始前に着地動作の説明と3回の練習を行い、着地動作が適切に行われているか確認した。

着地動作における筋活動を正規化するために、筋機能評価運動装置Biodex system3(Biodex Medical Systems社

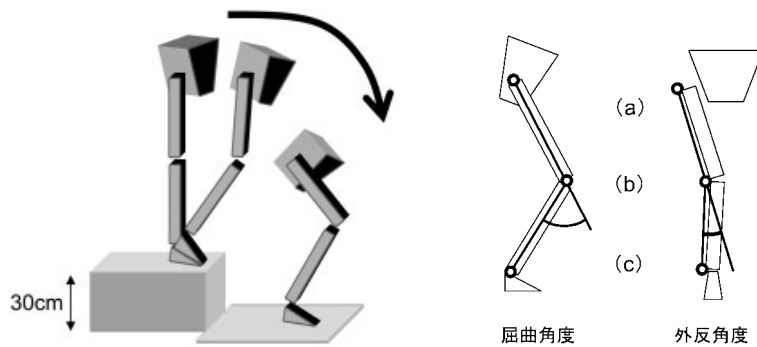


図1 着地方法と関節角度算出方法

(a) : 大転子, (b) : 膝関節裂隙外側, (c) : 外果にマーカを貼付した。  
矢状面における線 (a) (b) と線 (b) (c) が成す角度を屈曲角度とした。正は屈曲角度を示し、負は伸展角度を示す。前額面における線 (a) (b) と線 (b) (c) が成す角度を外反角度とした。正は外反角度を示し、負は内反角度を示す。

製)により各筋の最大随意等尺性収縮 (MVC) 中の筋電図を測定した。内側広筋と大腿直筋および大腿二頭筋と半腱様筋の測定には、付属の椅子に腰掛け体幹骨盤をベルトで固定し、膝関節90度屈曲位にて膝関節伸展・屈曲のMVCを行った。中殿筋および大内転筋の測定には、右側を上方にした側臥位となり骨盤をベルトで固定し、股関節内外転中間位にて股関節内転・外転のMVCを行った。いずれも3秒間の収縮を3回測定し、各筋にて中央100 msの積分値を平均してMVC時の積分値 (IEMG) とした。

着地動作における膝関節角度は、前額面および矢状面における大転子から膝関節のマーカを結ぶ直線と膝関節から外果を結ぶ直線の成す角により算出した。つまり前額面における2直線の成す角度を外反角度、矢状面における2直線の成す角度を屈曲角度と定義した (図1)。抽出した角度は、最大屈曲角度 (以下、屈曲角度) と最大屈曲時の外反角度 (以下、外反角度) である。いずれの角度も得られた5回の平均値を代表値とした。

筋活動は、筋電図解析ソフトウェアMyo Researchにより、足先の接地時から膝関節最大屈曲位までの積分値を算出し、対象者により最大屈曲位までの時間が異なるため100 msあたりに換算した。その上で各筋におけるMVC時の積分値を基準に、着地動作時の筋活動を正規化した (%IEMG)。得られた5回分の値を平均し代表値とした。

統計学的解析は、片脚着地動作と両脚着地動作の膝関節角度と筋活動量を比較するため対応のあるt検定を用い、危険率5%未満を有意とした。すべての解析には、統計ソフトウェアSPSS14.0J (SPSS Inc.) を用いた。

表1 着地時の膝関節角度

	片脚着地	両脚着地	p 値
屈曲角度	58.1 ± 8.7	63.9 ± 9.7	< 0.05
外反角度	8.2 ± 4.7	1.5 ± 5.5	< 0.01

平均値 ± 標準偏差  
単位 : 度

### III. 結果

膝関節角度に関して、屈曲角度は、片脚着地で58.1 ± 8.7度、両脚着地では63.9 ± 9.7度であった。片脚着地に対して両脚着地時の屈曲角度は有意に大きかった ( $p < 0.05$ )。外反角度は、片脚着地で8.2 ± 4.7度、両脚着地では1.5 ± 5.5度であった。両脚着地より片脚着地の膝外反角度は有意に大きかった ( $p < 0.01$ ) (表1)。

筋活動に関しては、すべての筋で片脚着地の%IEMGが両脚着地より有意に増加した (表2)。中殿筋に関しては、両脚着地では約37%であったが、片脚着地では約113%へと約3倍の変化を示した。その他、両脚着地から片脚着地への変化は、拮抗筋である大内転筋では約1.7倍、大腿四頭筋の内側広筋と大腿直筋では約1.7倍と1.6倍、ハムストリングスの大腿二頭筋と半腱様筋ではいずれも約1.8倍であった。

### IV. 考察

本研究では、片脚着地と両脚着地における膝関節角

表2 着地動作中の各筋の筋活動量

	中殿筋	大内転筋	内側広筋	大腿直筋	大腿二頭筋	半腱様筋
片脚着地	112.6 ± 35.1	70.0 ± 39.1	70.5 ± 38.3	85.2 ± 32.6	57.5 ± 26.5	37.0 ± 10.3
両脚着地	37.2 ± 9.6	40.2 ± 22.0	40.6 ± 15.6	52.1 ± 28.2	31.7 ± 17.7	21.1 ± 7.2
p 値	< 0.01	< 0.05	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01

平均値±標準偏差

単位：%EMG

度と下肢筋活動の違いを検討した。その結果、片脚着地では両脚着地と比較し膝屈曲角度は減少、外反角度は増加することが明らかとなった。また下肢の筋活動は片脚着地動作において全ての筋活動が有意に増加した。

Devitaらは床反力が減少していた着地動作では膝屈曲角度が大きく、着地時の膝屈曲角度が90度以下の対象者は膝屈曲モーメントが増大していたことを報告した<sup>21)</sup>。BeynonらはACLの緊張度について、Open Kinetic Chain (OKC) の膝屈曲伸展運動と Closed Kinetic Chain (CKC) であるスクワット運動のいずれも膝関節角度が90度以上では減少するが、伸展に伴い緊張度が増加し、屈曲30度および50度ではCKCがOKCよりも緊張度が高くなったとしている<sup>5)</sup>。本研究では、片脚着地動作時の膝屈曲角度が両脚着地動作時よりも減少していたことから、片脚着地では両脚着地よりも膝屈曲モーメントが増大し、ACLに加わる緊張度も高まっているものと推察した。

Hewettらは、着地動作における膝外反運動と外反モーメントの増大はACL損傷の可能性を高める重要な因子であることを指摘した<sup>22)</sup>。一方、Markolらは死体膝による実験から伸展を伴った膝外反はACLへの負荷を増大させると報告した<sup>6)</sup>。本研究では両脚着地と比較し片脚着地では外反角度が大きかった。片脚着地動作において膝屈曲角度が少なく外反角度が増大する場合、ACLへの負荷が増大し損傷のリスクが高まるものと推察された。

筋活動については、片脚着地においていずれの筋活動も増加した。身体を両脚で支えていたものが片脚になれば、必要な筋活動が増加することは想像に難くない。そのなかでも中殿筋の筋活動量は約3倍の増加を示しており、拮抗筋である大内転筋やその他の筋の活動よりも大きな増加であった。片脚着地では左右方向の支持基底面が両脚の場合と比較して著しく小さくなり、そのため着地時の筋活動として前額面の動きに作用する中殿筋の活動が増大し、矢状面の動きを主にコントロールする大腿四頭筋、ハムストリングスの変化は中殿筋よりも少なかったと推察した。股関節の内転および内旋は、膝関

節の外反および外旋の増大に関連すると述べられたものがあり<sup>22)</sup>、本研究結果からも股関節内転を防ぐ中殿筋の活動は片脚着地において特に重要な役割を担っていると考えた。

本研究の対象は男性のみであり、女性の特徴については明らかになってはいない。女性のACL損傷の発生率は男性の2～8倍も高いため<sup>23)</sup>、女性について測定を進めることはACL損傷予防のために有益な情報になると考えられ、今後、女性を対象にして検討する必要がある。また、本研究における膝外反角度の算出は、前額面上の膝関節角度を膝の外反角度としているため、股関節の内旋が強い場合は、膝屈曲が外反角度として計算されてしまう可能性がある。このため実際の着地動作における膝関節外反角度について精度を高める必要があり、二次元による解析のみでなく三次元による解析を行うことも今後の検討課題である。

## 引用文献

- 1) 日本整形外科学会診療ガイドライン委員会, ACL損傷ガイドライン策定委員会(編): 前十字靭帯 (ACL) 損傷診療ガイドライン. 江南堂, 東京, 2006, pp7-9.
- 2) 岩増弘志, 内山英司, 平沼憲治・他: スポーツ整形外科外来における外傷・障害の変遷 20年間の動向. 日本臨床スポーツ医学会誌, 2005, **13**(3): 402-408.
- 3) Boden BP, Dean GS, Feagin JA Jr, et al.: Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics*, 2000, **23**(6): 573-578.
- 4) 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.
- 5) Beynon BD, Johnson RJ, Fleming BC, et al.: The strain behavior of the anterior cruciate ligament during squatting and active flexion-extension. A comparison of an open and a closed kinetic chain exercise. *Am J Sports Med*, 1997, **25**(6): 823-829.
- 6) Markolf KL, Burchfield DM, Shapiro MM, et al.: Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces. *J Orthop Res*, 1995, **13**(6): 930-935.
- 7) McNair PJ, Marshall RN: Landing characteristics in subjects with normal and anterior cruciate ligament deficient knee joints. *Arch*

- Phys Med Rehabil, 1994, **75**(5):584-589.
- 8) Claiborne TL, Armstrong CW, Gandhi V, et al.: Relationship between hip and knee strength and knee valgus during a single leg squat. *J Appl Biomech*, 2006, **22**(1): 41-50.
  - 9) Zazulak BT, Ponce PL, Straub SJ, et al.: Gender comparison of hip muscle activity during single-leg landing. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2005, **35**(5): 292-299.
  - 10) Jacobs CA, Uhl TL, Mattacola CG, et al.: Hip abductor function and lower extremity landing kinematics: sex differences. *J Athl Train*, 2007, **42**(1): 76-83.
  - 11) Russell KA, Palmieri RM, Zinder SM, et al.: Sex differences in valgus knee angle during a single-leg drop jump. *J Athl Train*, 2006, **41**(2): 166-171.
  - 12) Nagano Y, Ida H, Akai M, et al.: Gender differences in knee kinematics and muscle activity during single limb drop landing. *Knee*, 2007, **14**(3): 218-223.
  - 13) Schmitz RJ, Kulas AS, Perrin DH, et al.: Sex differences in lower extremity biomechanics during single leg landings. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2007, **22**(6): 681-688.
  - 14) Ford KR, Myer GD, Smith RL, et al.: A comparison of dynamic coronal plane excursion between matched male and female athletes when performing single leg landings. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2006, **21**(1): 33-40.
  - 15) 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**(1): 43-54.
  - 16) Noyes FR, Barber-Westin SD, Fleckenstein C, 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*, 2005, **33**(2): 197-207.
  - 17) Ford KR, Myer GD, Hewett TE: Valgus knee motion during landing in high school female and male basketball players. *Med Sci Sports Exerc*, 2003, **35**(10): 1745-1750.
  - 18) 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.
  - 19) 根地嶋誠, 横山茂樹, 大城昌平: 膝関節伸展位等尺性収縮時の股関節肢位と内側広筋活動. *理学療法学*, 2004, **31**(6): 359-363.
  - 20) 浅川康吉, 市橋則明, 羽崎 完・他: 踏み台昇降訓練における股関節周囲筋の筋電図学的分析. *理学療法学*, 2000, **27**(3): 75-79.
  - 21) Devita P, Skelly WA: Effect of landing stiffness on joint kinetics and energetics in the lower extremity. *Med Sci Sports Exerc*, 1992, **24**(1): 108-115.
  - 22) 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. *Am J Sports Med*, 2005, **33**(4): 492-501.
  - 23) Arendt E, Dick R: Knee injury patterns among men and women in collegiate basketball and soccer. NCAA data and review of literature. *Am J Sports Med*, 1995, **23**(6): 694-701.