

片脚ホップ動作の方向による 膝外反角度の違い

Differences in knee valgus angle due to the direction of single-leg hopping

伊藤 渉*¹, 加賀谷善教*², 川原 貴*³

キー・ワード：ACL injury, single leg hop, screening test
膝前十字靭帯損傷, 片脚ホップ, スクリーニングテスト

【要旨】 スポーツ動作に含まれる縦および横方向の片脚ホップ動作における膝関節外反角度について検討することを目的とした。

ラグビー選手 25 名を対象とし, 前方, 内方, 外方への片脚ホップ動作をビデオカメラに記録し, 離地相と着地相の膝外反角度変位量を算出した。

膝外反角度変位量の平均値は, 離地相において前方ホップより外方ホップが有意に大きく ($p < 0.01$), 着地相において前方ホップより内方ホップが有意に大きかった ($p < 0.01$)。また, 離地相では前方ホップと外方ホップの間に正の相関を認めた ($r = 0.45, p < 0.01$)。

横方向の運動が含まれる内方・外方ホップにおける膝外反角度の評価の有用性は高いと考えられる。

緒 言

膝前十字靭帯 (ACL) 損傷はスポーツ活動において発生率の高い外傷のひとつである¹⁻³。バスケットボールやハンドボールなどのスポーツ活動における非接触型 ACL 損傷は着地動作やカッティング動作で多く受傷する⁴⁻⁷。奥脇⁸ は日本の中学・高校生の部活動中の外傷調査を行い, ラグビーにおける ACL 損傷の発生率は他の競技に比べ高いことを報告した。また, 男子高校生ラグビー選手のうち非接触型 ACL 損傷を受傷した 153 件のうち, カッティング・ランニング動作中の受傷が 102 件と多いことが分かっている⁹。非接触型 ACL 損傷が発生する動作の多くは, カッティング動作や片脚での着地動作であり, 運動中の負荷が一侧の下肢へかかる荷重動作である。

ACL は脛骨の前方移動と膝関節の外反・内旋の増大により伸張されることが屍体膝実験より分

かっている¹⁰⁻¹³。Koga ら¹⁴ はカッティング動作と片脚着地動作における非接触型 ACL 損傷の 3 次元解析を行い, 膝関節は軽度屈曲・外反・内旋位で受傷していたことを報告した。Hewett ら¹⁵ は前向き研究を実施し, Drop vertical jump (DVJ) にて膝外反モーメントが大きかった者に ACL 損傷が発生し, DVJ 中の膝外反モーメントと膝外反角度に関連があることを報告した。以上の先行研究より, スポーツ活動中の膝外反モーメントの増大とそれに伴う膝外反角度の増大は ACL 損傷のリスクとなることが分かっている。

ACL 損傷に対するスクリーニングテストとしては, Myer ら¹⁶ による DVJ における膝外反モーメントを予測する手法が成長期の女子選手を対象としたものでは一般的になっている。一方, Kristianslund ら¹⁷ は成長期を過ぎた選手を対象とした研究において, DVJ とサイドステップカッティングにおける膝外反モーメントの関連は小さいことを報告しており, 実際受傷場面と異なる両脚での動作をスクリーニングテストとして用いることに疑問を呈している。スポーツ活動では, 急激な運動方向の変化が生じるカッティング動作や,

*1 鹿屋体育大学大学院体育学研究科

*2 昭和大学保健医療学部

*3 国立スポーツ科学センター

運動方向が変化する中での片脚着地動作が頻回に行われる。縦方向の運動から横方向の運動へ変化する中で、荷重している脚に過度な膝外反が生じない適切な姿勢制御が求められる。しかし、カッティング動作といった実際のスポーツ動作は複雑であり、動作試行が一定であることは少ない。カッティング動作は、その評価には3次元動作解析など特殊な手法を要し、時間や場所、コストによる制約も大きく¹⁷⁾、一般的な評価手法として普及するには課題が多い。トレーナーや理学療法士がフィールド活動、臨床活動で用いることのできるカッティング動作や片脚着地動作におけるACL損傷のスクリーニングテストは考案されておらず、カッティング動作によりACL損傷が多く発生するラグビー選手への応用は未知である。

非接触型ACL損傷のスクリーニングテストとして、DVJを用いた評価のようにビデオによる評価が可能であり、時間や場所による制限が少なく、低コストなものが望ましい。また、実際の非接触型ACL損傷の受傷場面は、片脚着地動作やカッティング動作といった運動方向の変化が伴う片脚の荷重動作であり、縦方向だけでなく、横方向への運動が含まれる動作課題が適当であると考えられる。本研究では男子高校ラグビー選手を対象とし、前方・内方・外方への片脚ホップ動作を実施し、そのときの膝外反角度の違いについて検討することを目的とした。また、カッティング動作は、荷重を受ける着地相と運動方向を変える離地相が連動した運動であるため、各動作の着地相と離地相において膝外反角度を算出した。本研究の仮説として、縦方向の運動である前方ホップに比べ、横方向の運動である内方・外方ホップの膝外反角度が大きくなると考えた。

■ 方 法

1. 対象

対象は、過去にACL損傷の既往がない男子高校ラグビー選手25名49脚とした。外傷により測定に支障があった1脚は除外した。年齢は 16.6 ± 0.6 歳、身長は 172.5 ± 5.4 cm、体重は 75.7 ± 7.9 kgであった。本研究は国立スポーツ科学センター倫理委員会の規定に基づき、被験者に本研究の主旨を説明し、内容を十分に理解した上で書面にて同意を得た。

2. 動作課題

片脚ホップ動作は片脚立位から各方向（前方・内方・外方）に向けてジャンプし同側片脚で着地後、3秒間の静止を指示した（図1）。ホップ距離は50cmに設定した。上肢による代償動作を避けるため、両上肢は胸の前で組ませた。1人につき3試行実施し、最初に成功した1試行を採用した。着地後、足部の位置を変える、体幹・股関節の代償動作によりバランスをとった試行を失敗とした。失敗なく3秒間の静止を保持できた試行を成功とした。3試行のうち成功を得られなかった場合は、試行を追加して成功が得られるまで実施した。

3. 測定方法

被験者の上前腸骨棘、膝蓋骨中央、足関節内外果中点にフラットマーカーを貼付した。ビデオ動作測定はデジタルビデオカメラGZ-V590（JVC, Japan）を用い、着地地点の前方5m、レンズ高85cmにて地面と水平に設置して撮影した（29.97fps）。

4. データ解析

得られたビデオデータは、解析ソフトImage J（NIH, USA）を用い、膝外反角度変位量を算出した。上前腸骨棘、膝蓋骨中心、足関節内外果中点から成る角を膝外反角度とし、片脚立位時の膝外反角度と動作時の最大膝外反角度の差を膝外反角度変位量とした。片脚ホップ動作のうち、片脚立位からつま先が離地するまでの離地相とつま先接地から静止までの着地相について解析を行った（図2）。

5. 統計的手法

前方・内方・外方への片脚ホップ動作の離地相と着地相における膝外反角度変位量について統計解析を行った。膝外反角度変位量の平均値について正規性が保証された。平均値の差について一元配置分散分析、平均値の差の比較についてBonferroniの方法による多重比較検定を行った。離地相と着地相において、前方ホップと内方ホップ、前方ホップと外方ホップの間の相関関係についてPearsonの積率相関係数を用い有意性の検定を行った。統計処理は、統計解析ソフトウェアIBM SPSS ver. 22.0（IBM, USA）を使用し、有意水準は危険率5%とした。

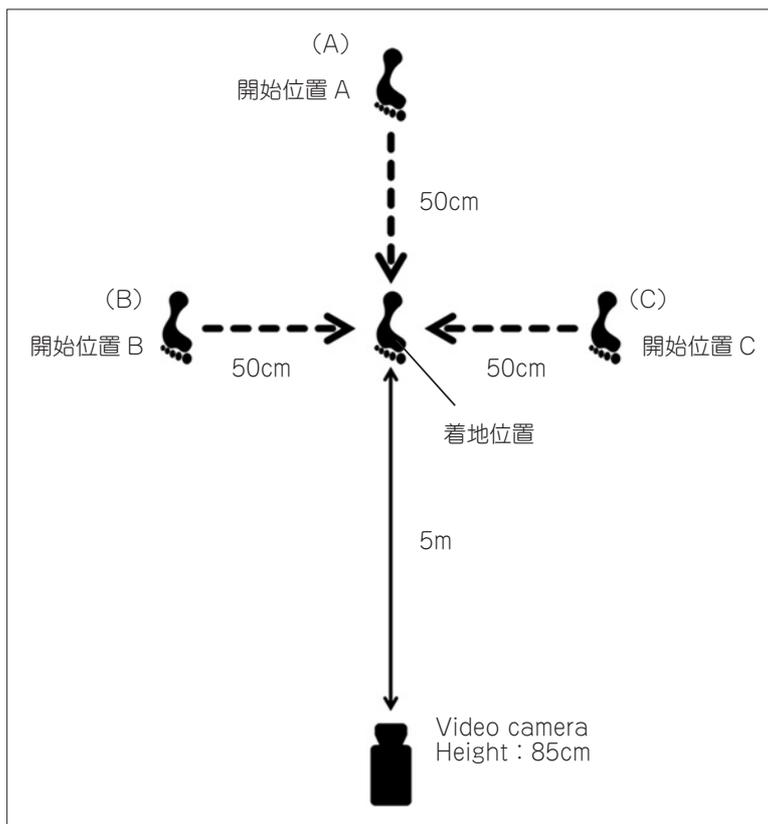


図1 片脚ホップ動作の動作課題と測定方法
 (A) 前方ホップ, (B) 内方ホップ, (C) 外方ホップ

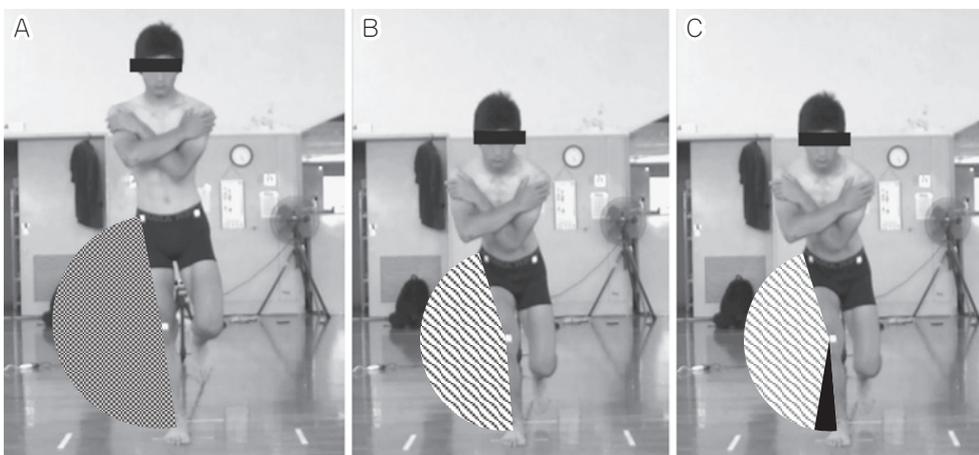


図2 膝外反角度変位量の算出
 (A) 片脚立位膝伸展位での膝外反角度
 (B) 片脚ホップ動作における最大膝外反角度
 (C) 膝外反角度変位量 = (A) - (B) [度]

結果

膝外反角度変位量の平均値と標準偏差 (SD) を表1に示した(表1). 分散分析の結果, 片脚ホップ動作の方向に有意な主効果が認められた. 多重

比較検定による各動作の膝外反変位量の平均値の差の比較の結果を図3に示した(図3). 離地相では, 前方ホップに比べ内方ホップが有意に小さく ($p < 0.01$), 外方ホップが有意に大きかった ($p < 0.01$). 着地相では, 前方ホップに比べ内方ホップ

表 1 膝外反角度変位量の平均値

		平均値±標準偏差
前方ホップ	離地相	9.3±7.6
	着地相	3.4±9.7
内方ホップ	離地相	-0.1±8.9
	着地相	9.6±9.1
外方ホップ	離地相	26.4±8.8
	着地相	5.2±10.2

単位 度

が有意に大きく ($p < 0.01$), 外方ホップに有意差は認められなかった. また, 離地相では前方ホップと外方ホップの間には中程度の有意な正の相関を認めたが ($r = 0.45, p < 0.01$) (図 4), 前方ホップと内方ホップの間に有意な相関関係は認められなかった. 着地相では前方ホップと外方ホップ, 前方ホップと内方ホップの間に有意な相関関係は認められなかった.

考 察

ACL 損傷は片脚着地動作やカッティング動作などの片脚での動作中に受傷することが報告されており^{4,5}, ラグビーにおいてもカッティング動作による ACL 損傷が多く発生している⁹. ACL 損傷のスクリーニングテストとして DVJ における膝外反モーメントを予測する方法が報告されている¹⁶が, DVJ は両脚での動作であり, ラグビーにおける実際の受傷場面に見られる片脚の動作を反映したものとは言い切れない⁵. しかし, 実際の片脚着地動作やカッティング動作をスクリーニングテストの動作課題とすることは動作の複雑さや評価方法に多くの問題がある. そこで我々は, 実際の非接触型 ACL 損傷の特徴である片脚での動作であり, 横方向の運動が含まれる片脚ホップ動作を ACL 損傷のスクリーニングテストとして考え, 男子高校生ラグビー選手を対象として, 片脚ホップ動作の方向による膝外反角度変位量の違いについて検討した.

膝外反変位量の大きさは, 離地相において前方ホップより外方ホップの膝外反変位量が大きく, 着地相において前方ホップより内方ホップの膝外反角度変位量が大きかった. Nagano ら¹⁹ は, 30 cm 台上から前方への片脚着地動作について 3 次元動作解析を行い, 膝外反角度変位量は約 2 度と小さな値であったことを報告した. 本研究におい

ても, 縦方向の運動である前方ホップは離地相では横方向の運動である外方ホップに比べ小さく, 着地相では横方向の運動である内方ホップに比べ小さい膝外反角度を示した. 前方ホップに比べ, 大きな膝外反角度変位量を有する外方ホップの離地相と内方ホップの着地相の評価は, 非接触型 ACL 損傷のリスクと考えられる膝外反角度を検出し易い動作であると考えられる.

着地相における前方ホップの膝外反変位量と内方ホップの膝外反変位量の間には相関関係が認められなかった. サイドステップカッティングにおいて大きな床反力垂直成分が生じるのは接地直後の荷重応答期であり^{20,21}, 本研究における着地相に含まれると考えられる. 前方ホップでは小さな膝外反角度変位量であった者が, 内方ホップでは膝外反を制御できずに大きな膝外反角度変位量を示すなど, 着地相に生じた大きな床反力が運動方向の違いによって膝外反の制御に影響を与えたと考える. 実際の非接触型 ACL 損傷は接地直後に大きな床反力が生じる相で発生すると報告されており¹⁴, 片脚ホップ動作についても着地相の膝外反角度を評価することは重要であると考えられる.

離地相では, 前方ホップの膝外反角度変位量と外方ホップの膝外反角度変位量に中程度の正の相関が認められた. 離地相は着地相に比べ床反力は小さく, 能動的に任意の方向への運動を制御することが可能であると考えられる. そのため, 運動方向の違いによる膝外反の制御への影響は小さく, 前方ホップで小さい膝外反角度変位量であった者は, 外方ホップでも膝外反変位量は小さいといった正の相関関係が認められたと考えられる. よって, 離地相における外方ホップの膝外反角度は, 前方ホップの膝外反角度から予測できる可能性がある.

本研究の動作課題である内方・外方への片脚ホップ動作は, 横方向の運動が含まれている. Kristianslund ら¹⁷ は縦方向の運動である DVJ と多平面の運動であるサイドステップカッティングの関連が小さいことを報告している. 内方・外方ホップは前方ホップに比べ, 大きな膝外反角度を検出することができた. 実際の非接触型 ACL 損傷の受傷場面にみられる横方向の運動による膝外反の制御の特性を評価することができると考えられ, スクリーニングテストとして, 横方向の運動が含まれる内方・外方ホップの有用性は高いと考

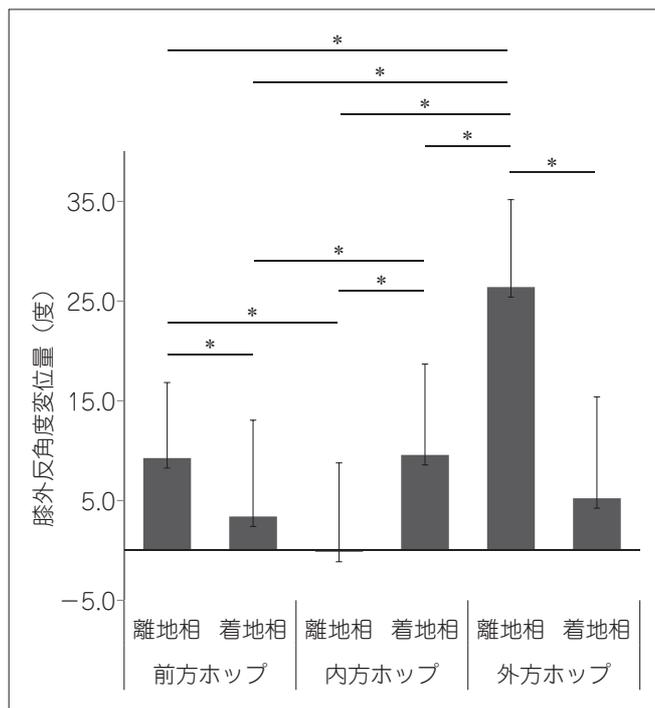


図3 膝外反角度変位量の平均値の比較
* : p<0.01

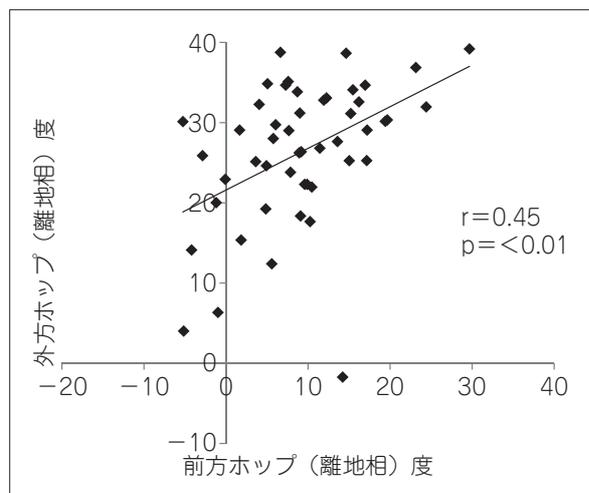


図4 離地相における前方ホップと外方ホップの膝外反角度変位量の関係

えられる。

本研究の限界は、ビデオによる関節角度解析のため、実際の関節角度と差が生じていることが考えられる。McLeanら²²⁾はサイドジャンプにおいてビデオによる関節角度と3次元動作解析による膝外反角度に関連があることを報告していることから、片脚ホップ動作におけるビデオ解析と3次元動作解析についても調べ、関連を示す必要が

ある。また、片脚ホップ動作では ACL 損傷のリスクである膝外反モーメントとの関連も明らかではないことから、動作時の膝外反角度の増大がリスクとなるかは不明である。しかし、片脚ホップ動作のビデオを用いたスクリーニングテストは簡便であり、フィールド活動や臨床活動においても実施が可能である。また、前方ホップと内方・外方ホップで膝外反角度に違いがあったことから、DVJを用いたスクリーニングテストで課題であった片脚での横方向の運動を評価することができるというメリットがある。本研究はカッティング動作における ACL 損傷が多いラグビー選手を対象としているため、他競技の選手を対象とした検証は必要であるが、カッティング動作や片脚着地動作における ACL 損傷予防やリハビリテーションにおける再発予防への有用性が期待される。

結 語

本研究は、カッティング動作および片脚着地動作による ACL 損傷のスクリーニングテストとして横方向の運動が含まれる片脚ホップ動作の方向による膝外反角度変位量の違いについて検討した。離地相では外方ホップが、着地相では内方ホッ

プが前方ホップに比べ有意に膝外反角度変位量が大きいことが分かり、縦方向の動作を評価するだけでは膝外反角度の増大を抽出するには不十分であることが示唆された。横方向の運動が含まれる内方・外方への片脚ホップ動作における膝外反角度の評価の有用性が期待される。

文 献

- 1) Bjordal, JM, Arnly, F, Hannestad, B et al.: Epidemiology of anterior cruciate ligament injuries in soccer. *Am J Sports Med* 25(3): 341-345, 1997.
- 2) Prodromos, CC, Han, Y, Rogowski, J et al.: A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen. *Arthroscopy* 23(12): 1320-1325, 2007.
- 3) Granan, LP, Bahr, R, Steindal, K et al.: Development of a national cruciate ligament surgery registry: the Norwegian National Knee Ligament Registry. *Am J Sports Med* 36(2): 308-315, 2008.
- 4) Olsen, OE: Injury Mechanisms for Anterior Cruciate Ligament Injuries in Team Handball: A Systematic Video Analysis. *American Journal of Sports Medicine* 32(4): 1002-1012, 2004.
- 5) 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.
- 6) Cochrane, JL, Lloyd, DG, Butfield, A et al.: Characteristics of anterior cruciate ligament injuries in Australian football. *J Sci Med Sport* 10(2): 96-104, 2007.
- 7) 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. *British journal of sports medicine* 43(6): 417-422, 2009.
- 8) 奥脇 透：日本における injury surveillance study 中高生の部活動における外傷統計. *日本臨床スポーツ医学会誌* 20(3): 415-417, 2012.
- 9) 伊藤 渉, 高橋佐江子, 奥脇 透ほか：男子高校生ラグビー選手における膝前十字靭帯損傷の受傷機転に関する大規模調査. *日本臨床スポーツ医学会誌* 23(3): 469-471, 2015.
- 10) Markolf, KL, Burchfield, DM, Shapiro, MM et al.: Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces. *J Orthop Res* 13(6): 930-935, 1995.
- 11) Fukuda, Y, Woo, SL, Loh, JC et al.: A quantitative analysis of valgus torque on the ACL: a human cadaveric study. *J Orthop Res* 21(6): 1107-1112, 2003.
- 12) Withrow, TJ, Huston, LJ, Wojtys, EM et al.: The effect of an impulsive knee valgus moment on in vitro relative ACL strain during a simulated jump landing. *Clin Biomech* 21: 977-983, 2006.
- 13) Oh, YK, Lipps, DB, Ashton-Miller, JA et al.: What Strains the Anterior Cruciate Ligament During a Pivot Landing? *Am J Sports Med* 40(3): 574-583, 2012.
- 14) 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.
- 15) 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: 492-501, 2005.
- 16) 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.
- 17) Kristianslund, E, Krosshaug, T: Comparison of drop jumps and sport-specific sidestep cutting: implications for anterior cruciate ligament injury risk screening. *Am J Sports Med* 41(3): 684-688, 2013.
- 18) Stensrud, S, Myklebust, G, Kristianslund, E et al.: Correlation between two-dimensional video analysis and subjective assessment in evaluating knee control among elite female team handball players. *Br J Sports Med* 45(7): 589-595, 2011.
- 19) Nagano, Y, Ida, H, Akai, M et al.: Gender differences in knee kinematics and muscle activity during single limb drop landing. *Knee* 14: 218-223, 2007.
- 20) Besier, TF, Lloyd, DG, Cochrane, JL et al.: External loading of the knee joint during running and cutting maneuvers. *Med Sci Sports Exerc* 33(7): 1168-1175, 2001.

- 21) Dempsey, AR, Lloyd, DG, Elliott, BC et al.: The effect of technique change on knee loads during sidestep cutting. *Med Sci Sports Exerc* 39(10): 1765-1773, 2007.
- 22) McLean, SG, Walker, K, Ford, KR et al.: Evaluation

of a two dimensional analysis method as a screening and evaluation tool for anterior cruciate ligament injury. *Br J Sports Med* 39(6): 355-362, 2005.

(受付：2015年4月30日，受理：2015年9月8日)

Differences in knee valgus angle due to the direction of single-leg hopping

Ito, W.^{*1}, Kagaya, Y.^{*2}, Kawahara, T.^{*3}

^{*1} National Institute of Fitness and Sports in Kanoya, Graduate School of Physical Education

^{*2} School of Nursing & Rehabilitation Sciences, Showa University

^{*3} Japan Institute of Sports Sciences

Key words: ACL injury, single leg hop, screening test

[Abstract] High-knee valgus angles and high-knee abduction moments during sporting activities have been viewed as predictors of noncontact anterior cruciate ligament (ACL) injury. ACL injuries usually occur during unilateral loading of sidestep cutting. Actual sidestep cutting is complicated due to the high speed and multiplane motion. Simple and easy clinical screening tests based on a single leg are required.

In this study knee valgus angle during front, lateral and medial single-leg hopping was investigated.

Twenty five male rugby players performed front, lateral and medial single-leg hopping. Displacement of the knee valgus angle was calculated during the jumping and landing phases by video analysis.

As a result, the displacement of the knee valgus angle was 9.3 ± 7.6 degrees/ 3.4 ± 9.7 degrees (jumping/landing) during front single-leg hopping, -0.2 ± 8.9 degrees/ 9.6 ± 9.1 degrees during medial single-leg hopping, and 26.4 ± 8.8 degrees/ 5.2 ± 10.2 degrees during lateral single-leg hopping.

During the jumping phase, displacement of the knee valgus angle during lateral single-leg hopping was greater than during front single-leg hopping ($p < 0.01$). During the landing phase, displacement of the knee valgus angle during medial single-leg hopping was greater than during front single-leg hopping ($p < 0.01$). Significant correlation was found between displacement of the knee valgus angle during lateral single-leg hopping and front single-leg hopping during the jumping phase ($r = 0.45$, $p < 0.01$).

Medial and lateral single-leg hopping are likely more valid to evaluate the knee valgus angle than front single-leg hopping.