

内側片脚着地時の失敗試技の特徴 —股関節，膝関節筋力に着目して—

Characteristics of Failed Trials during Single Leg Medial Side Landing —Focusing on hip and knee joint strength—

熊坂幸紀*¹, 賀来晃生*², 吉本真純*³

キー・ワード：Anterior Cruciate Ligament, single leg medial side landing, Failed Trial
膝前十字靱帯，内側片脚着地，失敗試技

〔要旨〕 本研究は，下肢筋力と内側片脚着地動作における失敗試技回数および失敗パターンとの関連を明らかにすることを目的とした。対象は健常大学生 50 名とし，股関節および膝関節筋力，片脚着地動作を測定した。片脚着地動作の課題動作は高さ 20cm の台からの内側片脚着地とし，10 回行った。失敗試技の回数および骨盤動作に基づき，3 パターンに分類した。結果，失敗試技が 3 回以上発生した群は，股関節の伸展筋力，外転筋力，内転筋力，膝関節伸展筋力が他の群より有意に低値を示した。また骨盤が外側に側屈する失敗試技が観察された群は，股関節伸展筋力，外転筋力，膝関節屈曲筋力，伸展筋力が有意に低値であった。失敗試技の分析は，筋力低下に関連した着地不安定性の予測に有用であり，そのスクリーニングは膝外傷予防に向けた評価の一環として活用できる可能性が示唆された。

緒 言

膝前十字靱帯 (Anterior Cruciate Ligament；以下 ACL) 損傷はスポーツ外傷の中で高頻度に発生する外傷のひとつである。受傷したアスリートの多くはスポーツ復帰のために再建術が必要であり，スポーツ復帰までに 6～12 か月と長期離脱が強いられる。また，再建術後 5 年の再損傷率は 1.8～10.4% と報告されており¹⁾，予防法の確立が重要である。ACL 損傷の発生率は非接触型が全体の約 70% を占める²⁾とされ，受傷機転は着地動作が多く³⁾，受傷時のアライメントは膝関節外反，軽度屈曲位，体幹直立位が特徴的であることが報告されている⁴⁾。また，着地動作時の膝関節外反負荷は ACL の張力を高め，ACL 損傷リスクを高める⁵⁾。これらの動作は瞬間的に生じ，受傷者の意に

反した動きが強制されるため，随意的な制御が困難となり受傷する。

筋力が動作に与える影響を解析した報告は多く，股関節外転筋，伸展筋，外旋筋，ハムストリングスの筋力低下が片脚着地時の膝外反を増大させる^{6,7)}ことが報告されている。また，片脚着地動作において非支持脚骨盤の挙上は膝外反モーメントを増大させる⁸⁾ことや前方と比較し内側方向への着地が ACL 損傷リスクを高めることも報告されている⁹⁾。しかし，これらの報告は予め与えた要件を全て満たした成功試技 (Successful Trial；以下 ST) の特徴を検討したものであり，試技の中には要件を満たすことができず，不適切な動作になった失敗試技 (Failed Trial；以下 FT) も観測される。実際の ACL 損傷は，損傷者が意図していない動きが強制された際に受傷する為，この FT に意図しない動きが含まれていると考えられる。

西野ら^{10,11)}は，内側片脚着地における FT の特徴を骨盤動作に着目して 3 つに分類し，FT の着地直後の動作は ST に比べて大きな骨盤動作と膝外反があることから非接触型膝外傷のリスク動作が

*¹ 帝京大学スポーツ医科学クリニック

*² いちはら病院リハビリテーション療法科

*³ 帝京平成大学健康メディカル学部

Corresponding author：吉本真純 (m.yoshimoto@thu.ac.jp)

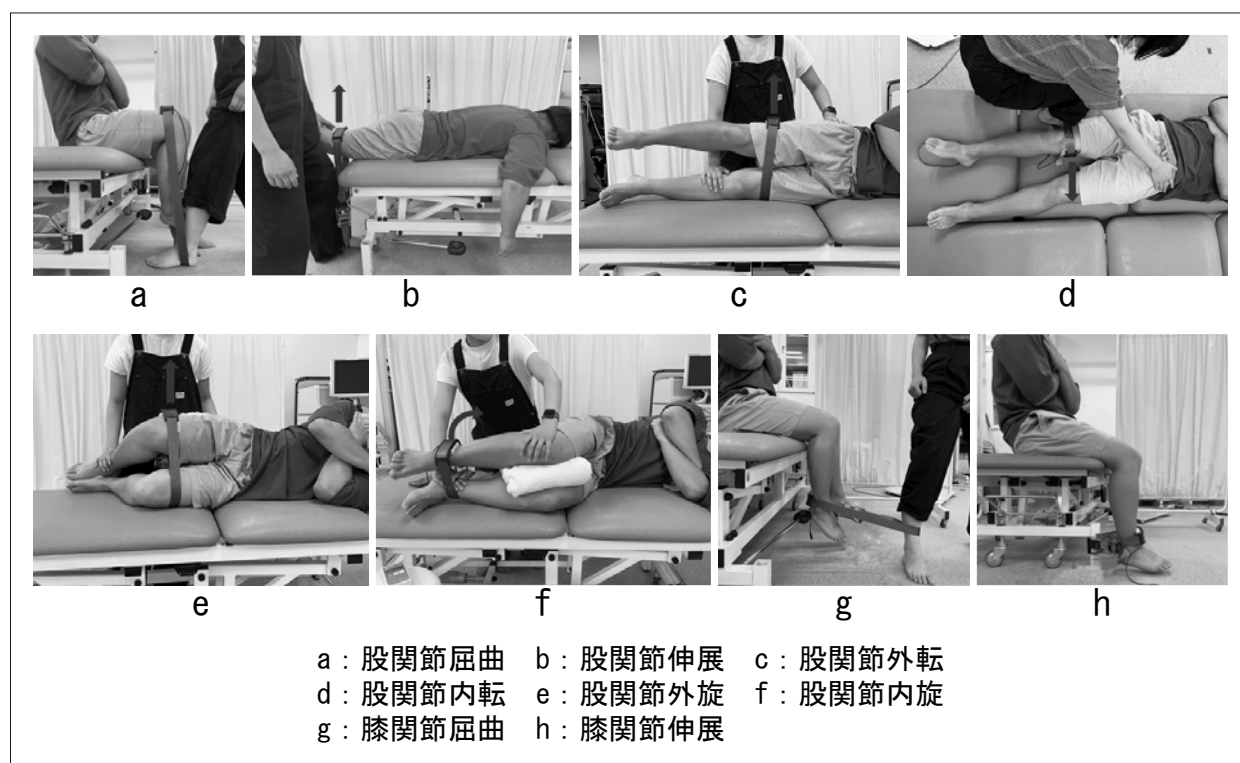


図1 筋力測定

含まれていることを報告した。したがって、内側片脚着地動作に失敗のパターンがあることから、その失敗パターンが起りやすい身体機能を明らかにすることが、ACL 損傷のリスク因子を抽出することにつながると考えた。本研究の目的は、下肢筋力が内側片脚着地動作の失敗回数、失敗パターンにおよぼす影響を明らかにすることとした。

対象および方法

1. 対象

対象は、健康大学生 50 名(年齢：20.4±1.3 歳、身長：166.3±8.5cm、体重：59.7±8.8kg、男性 25 名、女性 25 名)とした。除外基準は、下肢に神経学的、整形外科的既往歴、現在下肢に愁訴を認める者とした。本研究は、帝京平成大学倫理委員会の承認を受けて実施し(承認番号：2023-022)、対象者には研究の目的・意義の説明を十分に行い、同意を得てから測定を行った。

2. 筋力測定

筋力はハンドヘルドダイナモメーター(μTasF-01)を使用し、股関節屈曲(図 1a)・伸展(図 1b)・外転(図 1c)・内転(図 1d)・外旋(図 1e)・内旋(図 1f)、膝関節屈曲(図 1g)・伸展

(図 1h)筋力を測定した。各筋はベルト使用下で、等尺性収縮時の筋力を測定した。各測定とも 1 回の練習後、1 分間休息し、疲労ない状態を確認して 5 秒間の最大努力による運動を 3 回行った。3 回行った平均値を測定値として使用した。

3. 動作撮影

測定課題は高さ 20cm 台からの利き足内側片脚着地とした。開始肢位は利き足の片脚立位にて両手は腰に当てる姿勢とした。着地位置は台端内側方向 30cm 先に記したラインとした。同側脚で着地し、着地後に地面から足底を浮かさずに着地姿勢を 3 秒間保持するよう指示した。測定は 10 回行い、失敗試技が観測されたものを検討の対象とした。撮影はハイスピードカメラ(CASIO EX-100F)を使用した。サンプリング周波数は 120Hz とし、撮影は前額面と矢状面の 2 方向からとした。カメラ設置位置は着地位置より 3m 前および外側方、高さは地面から 60cm とした。

4. 動作解析

片脚着地動作は着地後、地面から足底を浮かさずに着地姿勢を保持出来た試技を ST と定義した。着地後 3 秒以上の片脚立位の保持が困難や着地後ホップした場合、接地足がずれた場合を FT と定義し、試技 10 回を ST、FT に分類した。FT

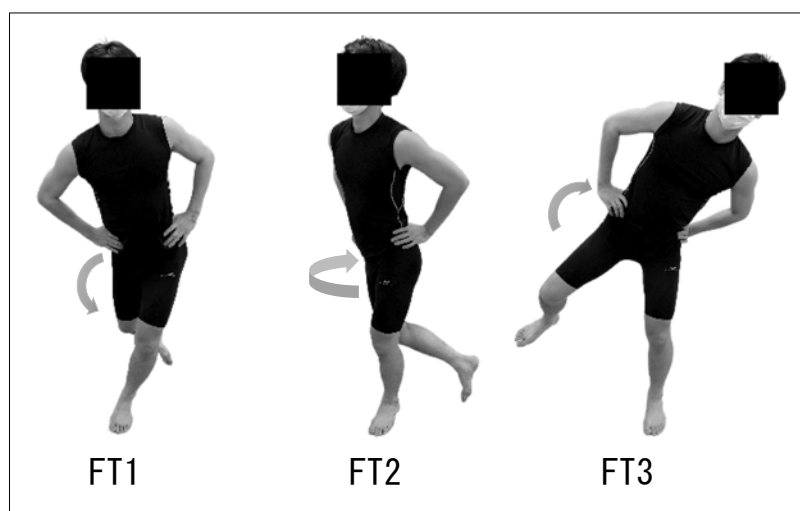


図2 失敗試技パターン

に分類された試技は先行研究を参考に次の3パターンに分類した^{10,11)}(図2)。着地時の遊脚側を内側、支持脚側を外側と定義し、FT1は骨盤が床面に対して内側へ側屈する「骨盤内側屈」、FT2は骨盤が床面に対して内側へ向き回旋する「骨盤内旋」、FT3は骨盤が床面に対して外側へ側屈する「骨盤外側屈」とした。FT試技の分類は特定の観測者3名が独立して行い、3名の判定が一致した場合に分類を確定した。判定が一致しない試技は分類不能として検討対象外とし、解析から除外した。

5. 統計学的解析

統計学的解析は統計解析ソフトIBM社製SPSS (25.0J for Windows)を用いた。筋力は各3回計測した平均値から体重で除した筋力体重比(Nm/kg)を解析値として用い正規性の検定を行った。被験者をFTの回数別に群分けし(0回群、1回群、2回群、3回以上群)、各筋力を一元配置分散分析およびMann-WhitneyのU検定を用いて検討した。なお、一元配置分散分析の事後検定はTukey法を用いた。また、FTパターンは同一対象者において複数種類が観察されうるため、各パターンについて「少なくとも1回そのパターンが観察された群」と「観察されなかった群」に分けて、対応のないt検定またはMann-WhitneyのU検定により探索的に検討した。それぞれ、有意水準は危険率5%とした。

■ 結 果

測定中にFTが観測された対象は50名中39名

であり、その39名で観測されたFTは計76回であった。0回群は11名、1回群は16名、2回群は17名、3回以上群は6名(3回:2名、4回:2名、5回:1名、7回:1名)であった。

3回以上群の股関節伸展筋力、膝関節伸展筋力は0回群と比較して有意に低値であった(表1)。3回以上群、2回群の股関節内転筋力は0回群と比較し有意に低値であった。3回以上群の股関節外転筋力は0回群、1回群、2回群と比較し有意に低値であった(表1)。

観測されたFTを特定の3名が3つのパターンに分類し、3名の判定が一致したFT試技は76回中57回であり、19試技を解析から除外した。各パターンの観測数はFT1が17名29回、FT2が9名9回、FT3が14名19回であった。なお、FTパターンは試技ごとに判定されるため、同一対象者内で複数パターンが観察される場合があった。FT1有群のすべての筋力はFT1無群と比較し有意差がなかった(表2)。FT2有群のすべての筋力はFT2無群と比較し有意な差がなかった(表2)。FT3有群の股関節伸展筋力、外転筋力、膝関節屈曲筋力、伸展筋力は、FT3無群と比較し有意に低値であった(表2)。

■ 考 察

本研究は下肢筋力が内側片脚着地動作の失敗回数、失敗パターンに与える影響を明らかにすることを目的とした。結果より、股関節伸展、外転、内転筋、膝関節伸展筋の筋力が低値なことはFT回数の増加に関連する可能性が示唆された。

表 1 FT 回数別の筋力平均の比較

		0 回群		1 回群		2 回群		3 回以上群	
股関節	屈曲	0.33 ± 0.09		0.30 ± 0.07		0.31 ± 0.08		0.24 ± 0.07	
	伸展	0.49 ± 0.12	^b	0.38 ± 0.09		0.40 ± 0.12		0.32 ± 0.09	
	内転	0.26 ± 0.08	[#]	0.21 ± 0.03		0.21 ± 0.05		0.18 ± 0.02	
	外転	0.42 ± 0.11	[*]	0.38 ± 0.07	^{**}	0.37 ± 0.09	^{***}	0.28 ± 0.06	
	内旋	0.26 ± 0.06		0.25 ± 0.08		0.21 ± 0.06		0.20 ± 0.06	
	外旋	0.38 ± 0.13		0.30 ± 0.08		0.30 ± 0.07		0.27 ± 0.09	
膝関節	屈曲	0.32 ± 0.10		0.26 ± 0.08		0.27 ± 0.06		0.24 ± 0.06	
	伸展	0.54 ± 0.16	[§]	0.43 ± 0.10		0.47 ± 0.10		0.37 ± 0.04	

^b : vs3 回以上群 (p=0.020)

平均値 ± 標準偏差

[#] : vs2 回群 (p=0.042), vs3 回以上群 (p=0.008)

単位 : Nm/kg

^{*} : vs3 回以上群 (p=0.012) ^{**} : vs3 回以上群 (p=0.003) ^{***} : vs3 回以上群 (p=0.030)[§] : vs3 回以上群 (p=0.024)

表 2 各 FT パターンの有無の筋力平均の比較

		FT1 有群	FT1 無群	p 値	FT2 有群	FT2 無群	p 値	FT3 有群	FT3 無群	p 値
股関節	屈曲	0.28 ± 0.07	0.31 ± 0.08	n.s.	0.30 ± 0.09	0.30 ± 0.08	n.s.	0.27 ± 0.09	0.32 ± 0.07	n.s.
	伸展	0.37 ± 0.13	0.42 ± 0.11	n.s.	0.45 ± 0.11	0.39 ± 0.12	n.s.	0.34 ± 0.07	0.43 ± 0.12	0.015
	内転	0.21 ± 0.07	0.22 ± 0.05	n.s.	0.21 ± 0.06	0.22 ± 0.06	n.s.	0.19 ± 0.04	0.23 ± 0.06	n.s.
	外転	0.37 ± 0.12	0.37 ± 0.08	n.s.	0.40 ± 0.10	0.36 ± 0.09	n.s.	0.30 ± 0.06	0.40 ± 0.09	0.001
	内旋	0.22 ± 0.08	0.24 ± 0.07	n.s.	0.25 ± 0.05	0.23 ± 0.07	n.s.	0.21 ± 0.07	0.24 ± 0.07	n.s.
	外旋	0.32 ± 0.09	0.31 ± 0.10	n.s.	0.31 ± 0.10	0.32 ± 0.10	n.s.	0.29 ± 0.07	0.33 ± 0.10	n.s.
膝関節	屈曲	0.27 ± 0.08	0.28 ± 0.08	n.s.	0.27 ± 0.07	0.27 ± 0.08	n.s.	0.23 ± 0.06	0.29 ± 0.08	0.017
	伸展	0.44 ± 0.11	0.47 ± 0.13	n.s.	0.43 ± 0.11	0.47 ± 0.12	n.s.	0.40 ± 0.09	0.48 ± 0.12	0.028

平均値 ± 標準偏差

単位 : Nm/kg

着地動作は膝関節屈曲および股関節屈曲が生じ、同時に大腿四頭筋、大殿筋およびハムストリングスの遠心性収縮が生じると報告されている¹²⁾。したがって股関節伸展筋、膝関節伸展筋は着地時の矢状面上の下肢動作を制御していることが推測される。Powers ら¹³⁾は、股関節外転筋の低下は荷重位における動作中に、対側の骨盤を落下させるいわゆるトレンドレンブルグ徴候と、対側の骨盤を挙上させ体幹を支持脚側に傾倒するという代償動作が生じることを報告した。また、股関節内転筋は一枝に荷重量が偏位する際に骨盤を安定させる作用を有していることが報告されている¹⁴⁾。以上より股関節外転、内転筋は股関節の前額面上の運動制御に加え、片脚動作時の骨盤の安定に重要であり、片脚着地時の骨盤動作にも関与することが推測される。したがって、FT3 回以上群は股関節伸展・外転・内転筋、膝関節伸展筋が低値であり、着地時の下肢矢状面上の動作および、股関節、骨盤における前額面上の動作の制御困難をきたし、FT 回数が増加したと考える。一方で、

1 回群・2 回群では筋力差が一貫しなかった。少数回の FT は、課題への慣れや注意配分、軽微なバランスの乱れといった偶発的要因の影響を受けやすく、筋力差として検出されにくい可能性がある。これに対して、FT が頻発する対象では筋力低下がより顕在化し、群間差として表れた可能性がある。なお、FT の発生には筋力のみならず、可動域、神経筋制御、固有感覚など複数の要因が関与する可能性がある。しかし、本研究ではこれらを評価していないため、本研究で認められた関連の解釈には留意が必要である。

FT パターンの有無で群分けした結果より、本研究によって分類した 3 つの FT パターンの中で FT3 は股関節伸展・外転筋、膝関節の筋力が低値であることが原因である可能性が示唆された。西野ら^{10,11)}は ST と比較した各 FT の着地直後の特徴として、FT1 は骨盤内側屈、FT2 は骨盤内側屈し股関節が内旋、FT3 は骨盤外側屈を呈していたと報告した。本研究は西野らの FT 分類方法を参考に行ったため、本研究も同様の動作を呈してい

たと考えらえる。FT3が観測された者は股関節外転筋力が低いことが影響し、着地の衝撃に対し骨盤を挙上させる代償動作を引き起こしやすくなったと考える。以上より、本研究で試行した内側片脚着地において股関節、膝関節の筋力が低値な者はFTの観測数が増え、さらにFT3が観測されることが示された。股関節、膝関節の筋力低下はACL損傷リスクと関連することが報告されている^{6,7)}ため、今回の結果を基にしたスクリーニングは、筋力低下に関連した着地不安定性を抽出する評価の一助となる可能性がある。また、受傷後の競技復帰に向けたリハビリテーションにおいて、評価や指導の判断材料として有効活用できる可能性がある。

本研究の限界は、利き脚での片脚着地課題のみに基づいて検討している点があげられる。ACL損傷率は左右差が認められることも報告されている⁵⁾ため、本研究の知見を非利き脚の着地動作へ直接一般化できない可能性がある。

今後は、性差の影響を明確にするため、男女別の層別解析や性別を考慮したモデルを用いた検討を行う必要がある。さらに、本研究で得られた知見を基盤として、筋力に着目したトレーニング介入を実施し、FTの発生頻度や失敗パターンが改善するかを前向きに検証することが必要である。

結 語

股関節、膝関節筋力が内側片脚着地動作の失敗試技（FT）の回数、FTパターンにおよぼす影響を検討した。FT3回以上群は0回群と比較し下肢筋力が低値を示し、FT3有群はFT無群と比較し下肢筋力が低値であった。今後は、FTのより詳細な分類と、筋力以外の身体的背景からFTが起こる要因を抽出することが必要である。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

著者貢献

・熊坂幸紀：Conceptualization(概念化), Methodology(方法論), Formal analysis(正式な分析), Data curation(データ管理), Investigation(調査), Validation(検証), Visualization(可視化), Writing – original draft(草稿の執筆), Project administration(プロジェクト管理)

・賀来晃生：Investigation(調査), Data curation(データ管理), Writing – review & editing(原稿の見直しとエ

ディテイング)

・吉本真純：Supervision(指導), Methodology(方法論), Validation(検証), Resources(リソース提供), Writing – review & editing(原稿の見直しとエディティング)

文 献

- 1) Wright RW, Magnussen RA, Dunn WR, et al. Ipsilateral graft and contralateral ACL rupture at five years or more following ACL reconstruction: a systematic review. *J Bone Joint Surg Am.* 2011; 93: 1159-1165 doi: 10.2106/JBJS.J.00898.
- 2) Boden BP, Dean GS, Feagin JA Jr, et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics.* 2000; 23: 573-578 doi: 10.3928/0147-7447-2000-0601-15.
- 3) 井原秀俊, 高山正伸, 福本貴彦, 他. 非接触型 ACL 損傷における性差・左右差. *整形外科と災害外科.* 2005; 5: 241-246.
- 4) 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.* 2009; 43: 417-422 doi: 10.1136/bjsm.2009.059162.
- 5) 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: 1002-1012 doi: 10.1177/0363546503261724.
- 6) Dix J, Marsh S, Dingenen B, et al. The relationship between hip muscle strength and dynamic knee valgus in asymptomatic females: A systematic review. *Phys Ther Sport.* 2019; 37: 197-209 doi: 10.1016/j.ptsp.2018.05.015.
- 7) Wild CY, Steele JR, Munro BJ. Insufficient hamstring strength compromises landing technique in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc.* 2013; 45: 497-505 doi: 10.1249/MSS.0b013e31827772f6.
- 8) 生田亮平, 石田知也, 山中正紀, 他. 片脚着地動作における初期接地時の前額面骨盤傾斜と膝関節最大外反モーメントの関連. *理学療法学.* 2014; 29: 955-959.
- 9) Sinsurin K, Vachalathiti R, Jalayondeja W, et al. Different Sagittal Angles and Moments of Lower Ex-

- tremity Joints during Single-leg Jump Landing among Various Directions in Basketball and Volleyball Athletes. J Phys Ther Sci. 2013; 25: 1109-1113 doi: 10.1589/jpts.25.1109.
- 10) 西野勝敏, 鈴木秀知, 大森 豪, 他. 女子バスケットボール選手の内側片脚着地動作における骨盤・下肢の生体力学的分析—成功試技と失敗試技との比較—. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2015; 23: 472-479.
- 11) 西野勝敏, 鈴木秀知, 大森 豪, 他. 女子バスケットボール選手の内側片脚着地における空中落下の身体制御が着地動作に及ぼす影響—非接触型前十字靭帯損傷のリスク要因の検討—. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2017; 25: 390-399.
- 12) 根地嶋誠. 着地動作の筋活動. 臨床スポーツ医学. 2019; 36: 476-480.
- 13) Powers CM. The influence of abnormal hip mechanics on knee injury: a biomechanical perspective. J Orthop Sports Phys Ther. 2010; 40: 42-51 doi: 10.2519/jospt.2010.3337.
- 14) Carol A. Oatis. In : 山崎 敦, 他(監修). オーチスのキネシオロジー 身体運動の力学と病態力学医学. ラウンドフラット ; 2012.
- (受付 : 2025 年 11 月 18 日, 受理 : 2026 年 4 月 9 日)

Characteristics of Failed Trials during Single Leg Medial Side Landing —Focusing on hip and knee joint strength—

Kumasaka, K.^{*1}, Kaku, K.^{*2}, Yoshimoto, M.^{*3}

^{*1} Teikyo University Sports Science & Medicine Clinic

^{*2} Department of Rehabilitation, Ichihara Hospital

^{*3} Faculty of Health and Medical Science, Teikyo Heisei University

Key words: Anterior Cruciate Ligament, single leg medial side landing, Failed Trial

[Abstract] This study aimed to clarify the relationship between lower leg muscle strength and the number and patterns of failed trials during single-leg medial-side landings. Fifty healthy university students participated in this study. Hip and knee joint strength and single-leg medial-side landing performance were measured. The task involved a single-leg medial side landing from a 20-cm stage, performed ten times. Participants were grouped according to the number of failed trials, and three patterns of failed trials were classified based on the pelvic motion. The group with three or more failed trials showed significantly lower hip extension, abduction, adduction, and knee extension strength than the other groups. In addition, in the group in which failed trials characterized by lateral pelvic tilt were observed, hip extension, abduction, knee flexion, and knee extension strength were significantly lower. Failed trials analysis may be useful for identifying landing instability associated with reduced muscle strength, and such screening may be utilized as part of an assessment aimed at preventing knee injuries.