

疲労がジャンプシュート後の 着地動作の筋活動に与える影響について —実業団女子ハンドボール選手における検討—

The effect of muscular fatigue on landing after jump-shooting
in elite female handball players

樋口武史*¹, 佐々木賢太郎*², 竹内拓哉*³
木村慎之介*¹, 竹内尚人*⁴, 北岡克彦*⁴

キー・ワード：handball, jump-shooting, landing, fatigue
ハンドボール, ジャンプシュート, 着地動作, 疲労

〔要旨〕 本研究はジャンプシュート動作における着地前の筋活動に着目し、疲労が筋活動量に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。実業団女子ハンドボール選手 12 名を対象として、ジャンプシュート動作を着地前（着地準備相）・後（緩衝相）の 2 相に分け、疲労課題における体幹・下肢筋活動量について表面筋電計を用いて解析した。結果として、着地準備相では疲労による筋活動量の低下は認められず、緩衝相において被検筋 6 筋中 5 筋に有意な筋活動量の低下が認められた。本結果より、緩衝相において協調的に筋活動量を減少できないことが下肢関節の外傷発生の一因となっていることが示唆された。

緒 言

少年女子ハンドボール選手を対象として行われたスポーツ外傷および障害の実態調査のアンケート結果によると、傷害部位は足関節に次いで膝関節が多く、その要因として疲労が挙げられている¹⁾。中でも、前十字靭帯（anterior cruciate ligament：ACL）損傷の発生率が高く、競技人口と競技時間で正規化した ACL 損傷発生率（athlete-hours）は、男女ともにハンドボール競技は他の競技と比較して高いことが示されている²⁾。ハンドボール競技中の非接触型 ACL 損傷はオフense時に多く発生し、ジャンプシュート後の着地動作

やカッティング（フェイント動作）での発生が多く³⁾、性差でみると女性は男性の 5 倍高い⁴⁾。この要因として、形態学的因子、アライメント特性、女性ホルモンや関節弛緩性の影響などが報告されている⁵⁾。そのため、女性と男性では ACL 受傷のメカニズムが異なることが示唆されている⁶⁾。筋活動の観点から性差を検討した Zazulak ら⁷⁾の報告によると、drop landing 時の大殿筋と大腿直筋の筋活動量は、男性に比べて女性は接地直前の大腿直筋の活動ピーク値が高く、接地後の大殿筋の活動ピーク値および平均筋活動量は低値を示すことが報告されている。女性と男性では筋の動員パターンや活動のタイミングが異なるため⁸⁾、競技中の非接触型 ACL 損傷の予防策を講じる場合、性差を考慮し実際の競技に即した動作の解析を行う必要がある。

着地動作における ACL 損傷は、床への初期（爪先）接地（initial contact：IC）から 50ms 以内に生じる⁹⁾のに対して、反射性の筋活動が生じるまでの

*¹ 医療法人社団光仁会木島病院リハビリテーション科
*² 金城大学大学院リハビリテーション学研究科リハビリテーション学専攻
*³ 広島大学大学院医歯薬保健学研究科保健学専攻スポーツリハビリテーション学研究室
*⁴ 医療法人社団光仁会木島病院整形外科

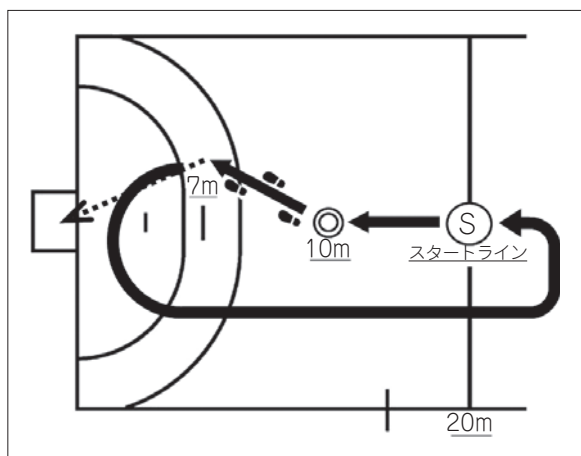


図 1

時間は 100ms 以上を要する¹⁰⁾とされ、着地後の筋活動によるアライメント修正では ACL 損傷を防ぐことは難しいと予測される。そのため、着地前の滞空中の身体制御、すなわち着地に備えた予備的な筋活動の動員 (preparatory muscle activity : PMA)⁸⁾が重要となる。PMA による膝関節、ひいては体幹、下肢全体のアライメント制御が着地時の危険肢位を回避することにつながるのではないかと考えた。過去の検討において、実際のハンドボール競技動作における着地前の PMA に焦点を当てたものは見当たらない。また、PMA が疲労によってどのような影響を受けるかも明らかにされていない。本研究ではジャンプシュート動作に着目し、着地前の体幹、下肢筋の PMA を計測するとともに、疲労が PMA に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

対象と方法

対象は実業団女子ハンドボールチームに所属する選手 15 名で、膝関節を受傷した 2 名を除いた 13 名 (平均値 25.9 歳, 標準偏差 4.9 歳, body mass index 平均値 22.8kg/m², 標準偏差 1.4kg/m², 右利き 12 名, 左利き 1 名, 競技歴 14.8 年, 標準偏差 4.9 年) とした。対象者には本研究の目的を十分に説明し同意を得た。なお、本研究は金城大学研究倫理委員会の承認を得て行った (承認番号第 25-03)。

計測はチームが普段練習している体育館で実施し、通常の練習どおりのウォームアップを十分に行ってから計測を開始した。疲労課題として、ハンドボールコート上の 20m ラインから走り、10m ラインにてパサーからボールを受け取り、3 歩後

に 7m ラインにてジャンプシュートをし着地する。その後、即座に全力で走って 20m ラインへと戻る (図 1)。この一連の動作を連続して施行した。疲労の程度と選手のリスク管理を考慮し、連続回数を 10 回に設定した。本研究では、ジャンプシュートの際の踏み切り、ジャンプシュート後の着地はどちらも非投球側で行うこととした。計測区間は、ボールリリースから IC 直前まで (着地準備相)、IC から着地後の膝関節最大屈曲位まで (緩衝相) の 2 相に分けた。

課題中の体幹・下肢筋の活動について表面筋電計 (テレマイオ 2400 : EM-401, Noraxon 社製) を用いて計測した。被験筋は外腹斜筋 (obliquus externus : OE), 中殿筋 (gluteus medius : GM), 長内転筋 (adductor longus : AL), 大腿直筋 (rectus femoris : RF), 大腿二頭筋 (biceps femoris : BF), 長腓骨筋 (peroneus long : PL) (全て非投球側) の 6 筋とし、ディスプレイ電極 (ブルーセンサー : P-00-S, METS 社製) を使用した。筋電計ソフトにてデジタルビデオカメラの画像を取込み表面筋電計と同期させ、動作中の相を同定した。導出された筋電位のアナログ信号はサンプリング周波数 1500Hz で AD 変換した後、パーソナルコンピュータに取り込んだ。得られた筋電波形は、30-500Hz のバンドパスフィルタで処理した後、50 ms ごとに root mean square によって平滑化した。さらに、各筋の最大収縮時の値で正規化し、各相の平均筋活動量を求めた。予備実験の結果より、疲労前の筋活動量として 2-4 施行目 (pre-fatigue) と、被験者の主観的疲労度が上昇する 7-9 施行目 (post-fatigue) の平均筋活動量の平均値を採用した。

統計学的検討には、PASW statistics 18.0 を用い、Shapiro-Wilk 検定にて各筋の平均筋活動量の正規性について検討した。比較項目として、着地準備相と緩衝相それぞれの pre-fatigue と post-fatigue の時間の比較、pre-fatigue および post-fatigue の各相における筋の準備相と緩衝相の平均活動量の比較、各筋内における pre-fatigue と post-fatigue の平均筋活動量の比較、以上 3 項目の比較について検討した。正規性が認められなければ対応のある t 検定、認められなければ Wilcoxon 符号付き順位検定にて比較検討し、全て 5% 水準にて有意判定を行った。

結 果

計測中, GM, PL の筋電電極の固定が悪く, モーションアーチファクトの影響が強い被験者 1 名のデータを除外し, 計 12 名(平均 25.8 歳, 標準偏差 5.1 歳, body mass Index 平均値 22.7kg/m², 標準偏差 1.3kg/m², 競技歴平均 14.3 年, 標準偏差 4.5 年, 右利き 11 名, 左利き 1 名)のデータについて解析した。

着地準備相と緩衝相それぞれの pre-fatigue と post-fatigue の時間の比較を行った結果 (表 1), post-fatigue の着地準備相(平均値 0.11s, 標準偏差 0.04s) は pre-fatigue (平均値 0.15s, 標準偏差 0.04s) よりも有意に短縮した (p<0.05) が, 緩衝相で

は pre-fatigue (平均値 0.10s, 標準偏差 0.02s) と post-fatigue(平均値 0.11s, 標準偏差 0.03s)に差は認められなかった。

2 相における被検筋 6 筋の結果を表 2 に示した。着地準備相と緩衝相における平均筋活動量を比較した結果, pre-fatigue では AL を除く OE (p<0.05), GM (p<0.01), RF (p<0.05), BF (p<0.05), PL (p<0.01) で着地準備相の平均筋活動量は緩衝相よりも有意に高い結果となった。また, post-fatigue では OE (p<0.05), GM (p<0.01), AL (p<0.05), RF (p<0.01), BF (p<0.01), PL (p<0.05) すべての筋において着地準備相の平均筋活動量は緩衝相よりも有意に高い結果となった。

各筋内における pre-fatigue と post-fatigue の平均筋活動量の比較をした結果, 緩衝相において PL を除く OE (p<0.05), GM (p<0.01), AL (p<0.01), RF (p<0.05), BF (p<0.05) で, 2-4 施行目に比べて 7-9 施行目の平均筋活動量は有意に低下した。一方, 着地準備相ではすべての被検筋において有意な変化は認められなかった。

表 1 2 相における pre-fatigue と post-fatigue の時間の比較

	pre-fatigue	post-fatigue
着地準備相	0.15 ± 0.04s	0.11 ± 0.04s*
緩衝相	0.10 ± 0.02s	0.11 ± 0.03s

平均値 ± 標準偏差 単位 (s)

*着地準備相 pre vs post fatigue: p=0.01

表 2 2 相における各筋の平均筋活動量の変化

	着地準備相		緩衝相	
	pre-fatigue	post-fatigue	pre-fatigue	post-fatigue
OE	15.0 ± 7.7* ¹	11.9 ± 5.8 ^{†1}	12.5 ± 7.6	7.8 ± 4.0 ^{‡1}
GM	13.4 ± 7.1* ²	15.2 ± 9.5 ^{†2}	4.9 ± 3.2	3.4 ± 2.1 ^{‡2}
AL	9.1 ± 2.9	7.8 ± 3.3 ^{†3}	8.3 ± 3.3	5.7 ± 2.5 ^{‡3}
RF	50.2 ± 28.0* ³	50.7 ± 20.4 ^{†4}	26.9 ± 19.1	16.0 ± 17.4 ^{‡4}
BF	72.7 ± 28.7* ⁴	72.9 ± 33.7 ^{†5}	51.0 ± 38.0	47.0 ± 44.5 ^{‡5}
PL	83.5 ± 26.2* ⁵	82.8 ± 34.1 ^{†6}	39.8 ± 25.9	35.7 ± 23.0

平均値 ± 標準偏差

単位 (%)

*¹ pre-fatigue 着地準備相 vs 緩衝相: p=0.019

*² pre-fatigue 着地準備相 vs 緩衝相: p=0.002

*³ pre-fatigue 着地準備相 vs 緩衝相: p=0.015

*⁴ pre-fatigue 着地準備相 vs 緩衝相: p=0.024

*⁵ pre-fatigue 着地準備相 vs 緩衝相: p=0.002

†¹ post-fatigue 着地準備相 vs 緩衝相: p=0.017

†² post-fatigue 着地準備相 vs 緩衝相: p=0.002

†³ post-fatigue 着地準備相 vs 緩衝相: p=0.043

†⁴ post-fatigue 着地準備相 vs 緩衝相: p=0.005

†⁵ post-fatigue 着地準備相 vs 緩衝相: p=0.009

†⁶ post-fatigue 着地準備相 vs 緩衝相: p=0.01

‡¹ 緩衝相 pre vs post fatigue: p=0.028

‡² 緩衝相 pre vs post fatigue: p=0.005

‡³ 緩衝相 pre vs post fatigue: p=0.008

‡⁴ 緩衝相 pre vs post fatigue: p=0.041

‡⁵ 緩衝相 pre vs post fatigue: p=0.034

考 察

本研究では、着地時の ACL 損傷予防を想定し、着地準備相における体幹、下肢筋の PMA に着目し、疲労による影響について検討した。着地準備相と緩衝相の平均筋活動量を pre-fatigue と post-fatigue それぞれで比較した結果、pre-fatigue では 6 筋中 5 筋、post-fatigue ではすべての筋において着地準備相の筋活動量は緩衝相よりも有意に高値を示した。着地準備相ではシュート後の身体制御と着地のための準備活動という 2 つの異なる動作の筋活動が反映される。それに対し、緩衝相では床反力が最大値を迎えていることが予測され、それに対して体幹、下肢伸筋群は遠心性制御によって特に垂直方向の床反力を緩衝する。すなわち、緩衝相では協調的に筋活動量の減少がなされることで下肢関節への負担を軽減しているものと推察される。そのため、着地準備相に比べて緩衝相の下肢筋活動量は低値を示したと考える。

疲労の影響について、pre-fatigue と post-fatigue の筋活動量の比較した結果、着地準備相ではすべての被検筋で有意な筋活動量の変化は認められなかった。ボールリリースから爪先接地までの時間は pre-fatigue に比べて post-fatigue では有意に短縮し、疲労により滞空時間が短縮したものと考えられる。しかし、疲労前後の平均活動量に差は認められず、疲労下であっても PMA は疲労前と同等の活動量が維持されることが示された。研究前の仮説として、シュート後の身体制御と着地のための準備活動という 2 つの異なる活動を反映するため、疲労によって筋活動量が低下すると予測していた。仮説と異なる結果となった要因として、疲労度の影響が考えられる。本研究では被験者の疲労程度を評価していないため、本課題がどの程度の疲労を与えたのか、どこに疲労を与えたのか、明らかにされていない。さらに高強度の負荷を課した場合、PMA の変化は異なる可能性も考えられるため、本結果だけでは PMA が疲労の影響を受けないとは断言できない。また、筋活動量の観点からのみの結果であり、筋活動のタイミングやパターンについても PMA について詳しく検討していく必要がある。

一方、緩衝相では PL を除く骨盤に付着を持つ 5 筋において筋活動量が有意に低下した。緩衝相における骨盤、下肢関節の屈曲は重心の下方移動

を減速させるための加速度を小さくすることで、その反力である身体に及ぶ上方への加速度を小さくしている。この屈曲運動は伸筋群の遠心性制御によるものであり、協調的な筋活動量の減少によって緩衝がなされている。疲労により骨盤に付着する筋肉の活動量が有意に減少したのは、協調的な筋活動量の減少が困難となり、急速に脱力したものと推察する。また、これらの筋群の筋活動量低下は片脚着地時の骨盤の安定性欠如から体幹側屈による膝外反負荷を招く危険性が考えられる。疲労による筋活動量の影響を検討した本結果から、着地準備相における PMA が維持されていても、緩衝相の協調的な筋活動量が損なわれることで着地時の ACL 損傷を引き起こしている可能性が示唆された。

本研究にはいくつかの主要な限界がある。まず、疲労の基準を設けておらず、その程度も定量化していない。異なる疲労度では筋活動の結果も異なってくる可能性がある。また、今回の研究では表面筋電計とデジタルビデオカメラのみを用いて実際の選手の練習場で計測を行った。そのため、ジャンプの高さ、距離、方向の違いや、床反力や関節角度、関節モーメントなどの計測を行っておらず、筋活動量の変化のみからシュート動作を考察している。最後に、ハンドボール競技はポジションによってシュートする場所、方法、シュートフォームは大きく異なる。今回の課題であるシュート動作は、選手の固有のポジションに関係なく行ったが、ポジションは選手個々の身体制御の個性を反映するものと予測されるため、今後はポジションごとの解析を行っていく必要がある。

本結果より、実業団女子ハンドボール選手のジャンプシュート後の着地時における筋活動の特性を明らかにした。着地準備相における PMA の筋活動量は疲労前後で変化を認めなかったが、緩衝相では疲労によって協調的な筋活動量減少による減速動作が困難となり、筋の急速な脱力による筋活動量の減少が認められた。

文 献

- 1) 長堂益丈, 浅野勝己, 田中 茂ほか: 少年女子ハンドボール選手におけるスポーツ外傷および障害の実態に関する調査・研究. 臨床スポーツ医学 25: 665-669, 2008.
- 2) 渡辺裕之編: 第 1 章 ACL 損傷の疫および重要度.

- 福林 徹, 蒲田和芳監修. ACL 損傷予防プログラムの科学的基礎. NAP Limited, 東京, 第1版, 5, 2008.
- 3) 浦辺幸夫: 膝前十字靭帯 (ACL) 損傷の予防プログラムの実践. *スポーツメディスン* 7: 34-37, 2005.
 - 4) Myklebust, G, Maehlum, S, Holm, I et al.: A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian team handball. *Scand J Med Sci Sports* 8: 149-153, 1998.
 - 5) Boden, BP, Heehan, FT, Hewett, TE et al.: Non-contact ACL injuries, mechanisms and risk factors. *J Am Acad Orthop Surg* 18: 520-527, 2010.
 - 6) Mendiguchia, J, Ford, KR, Quatman, CE et al.: Sex differences in proximal control of the knee joint. *Sports Med* 41: 541-557, 2011.
 - 7) Zazulak, BT, Ponce, PL, Straub, SJ et al.: Gender comparison of hip muscle activity during single-leg landing. *J Orthop Sports Phys Ther* 35: 292-299, 2005.
 - 8) Hewett, TE, Zazulak, BT, Myer, GD et al.: A review of electromyographic activation levels, timing differences, and increased anterior cruciate ligament injury incidence in female athletes. *Br J Sports Med* 39: 347-350, 2005.
 - 9) 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: 359-367, 2007.
 - 10) Hewett, TE, Myer, GD: The mechanistic connection between the trunk, hip, knee, and anterior cruciate ligament injury. *Exerc Sport Sci Rev* 39: 161-166, 2011.
 - 11) Zemper, ED: Injury rates in a national sample of college football teams. A 2 year retrospective study. *Physician Sports* 11: 104-113, 1989.
 - 12) Tuggy, ML, Ong, R: Injury risk factors among telemark skiers. *Am J Sports Med* 28: 83-89, 2000.
 - 13) Kulas, AS, Hortobágyi, T, Devita, P: The interaction of trunk-load and trunk-position adaptations on knee anterior shear and hamstrings muscle forces during landing. *J Athl Train* 45: 5-15, 2010.
 - 14) Blackburn, JT, Padua, DA: Sagittal-plane trunk position, landing forces, and quadriceps electromyographic activity. *J Athl Train* 44: 174-179, 2009.
 - 15) 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* 43: 417-422, 2009.
 - 16) Hewett, TE, Bogert, AJ, Paterno, MV 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.
 - 17) Boden, BP, Torg, JS, Knowles, SB et al.: Video analysis of anterior cruciate ligament injury: abnormalities in hip and ankle kinematics. *Am J Sports Med* 37: 252-259, 2009.
 - 18) Zazulak, BT, Hewett, TE, Reeves, NP et al.: Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: a prospective biomechanical-epidemiologic study. *Am J Sports Med* 35: 1123-1130, 2007.
 - 19) Rozzi, SL, Lephart, SM, Fu, FH: Effects of muscular fatigue on knee joint laxity and neuromuscular characteristics of male and female athletes. *J Athl Train* 34: 106-114, 1999.
 - 20) Zazulak, BT, Hewett, TE, Reeves, NP et al.: The effects of core proprioception on knee injury: a prospective biomechanical-epidemiological study. *Am J Sports Med* 35: 368-373, 2007.

(受付: 2016年7月14日, 受理: 2017年1月12日)

The effect of muscular fatigue on landing after jump-shooting in elite female handball players

Higuchi, T.^{*1}, Sasaki, K.^{*2}, Takeuchi, T.^{*3}
Kimura, S.^{*1}, Takeuchi, N.^{*4}, Kitaoka, K.^{*4}

^{*1} Rehabilitation Medicine, Medical Corporation Kijima Hospital

^{*2} Course of Rehabilitation, Graduate School of Rehabilitation, Kinjo University Graduate School

^{*3} Course of Sports Rehabilitation, Graduate School of Biomedical and Health Sciences, Hiroshima University Graduate School

^{*4} Department of Orthopedic Surgery, Medical Corporation Kijima Hospital

Key words: handball, jump-shooting, landing, fatigue

[Abstract] The aim of this study was to clarify the effect of muscular fatigue on landing after jump-shooting in elite female handball players. Twelve female players participated in this study. We evaluated trunk and lower extremity muscular activity by electromyography just before and after landing. As a result, the effect of fatigue was reflected by a decline in muscular activity in most tested muscles after landing, although muscular activity did not decline just before landing. The results suggest that disturbance of coordinative muscular de-recruitment is a factor in injury of lower extremity joints during single leg landing.