

片脚着地動作時の姿勢制御に関する調査—走高跳時に踏み切りに使用する脚に注目して—

Analysis of the characteristics of the take-off leg in high jump for postural control during single-leg landing

安永 亨*

キー・ワード：take-off leg, single-leg landing, postural control
走高跳踏み切り脚, 片脚着地, 姿勢制御

【要旨】 以前我々は、当院で手術を行った非接触型前十字靭帯 (ACL) 損傷例を対象に、その受傷側と軸脚側や走高跳時の踏み切り脚側との一致率を調査した結果、踏み切り脚側と ACL 損傷側とが特に女性症例において高率に一致していたことを報告した。走高跳時の踏み切り脚側と反対脚側との間で、片脚着地動作時の姿勢制御に関して違いがあるかどうかを検証した。スポーツを行っている当院勤務の女性看護師 40 名 (平均年齢 26.5 才) を対象とした。加速度・角速度計内蔵メガネ型ウェアラブルセンサーを装着し、20cm の高さのステップ台上に片脚立位の状態をとらせ、同側下肢のみで着地動作を行わせた。着地後に可能な限り短時間で姿勢を安定するように指示し、両下肢各 3 回、計 6 回試行させた。得られた加速度データを分析し、姿勢が安定するまでの時間を計測した。その結果、姿勢安定までに要する時間は、走高跳の踏み切り脚側での着地時 ($0.913 \pm 0.489s$) のほうが、反対脚側 ($0.667 \pm 0.333s$) より有意に遅延していた ($p < 0.005$)。

はじめに

スポーツ活動における非接触型前十字靭帯 (ACL) 損傷は通常、片側性に生じ両側同時に生じることが極めてまれである。また、ACL 損傷の危険因子についての研究報告も多数存在するが、それらの危険因子のほとんどは同一個体内では明らかな左右差がなく、両下肢ともかなり近似し存在しているものと思われる。このような条件のもと仮にスポーツ活動において両下肢とも同じ動きをし、同程度の負荷を受けるものとするれば、非接触型 ACL 損傷は両下肢に同率で生じることが予想される。しかし、過去の報告では、非接触型 ACL 損傷の初回受傷側は、左膝や軸脚側に多く認められ (60% 前後)^{1,2)}、必ずしも左右同率では無く、ま

た、その傾向は男性よりも女性において顕著であるという報告が多い^{3,4)}。

以前我々は、当院で手術を行った非接触型 ACL 損傷例を対象に、その受傷側と軸脚側や走高跳時の踏み切り脚側との一致率を調査した。その結果として受傷側と軸脚側が一致したのは約 60% であったのに対し、受傷側と走高跳踏み切り脚側とが一致したのは約 80% と高率で、特に女性でその一致率が高かったことを報告した。また、踏み切り動作時の受傷はわずか 2% 程度であったのに対し、着地動作時の受傷は約 50% と最も多く、この着地動作で受傷した症例の受傷側と走高跳踏み切り脚側との一致率も約 84% と高率であったことを報告した⁵⁾。つまり、走高跳の踏み切り脚を着地動作に使用する際には、何らかの危険因子が働いている可能性がある。

そこで今回我々は、女性症例において、走高跳

* いわき市立総合磐城共立病院整形外科

時の踏み切り脚側と反対脚側とを片脚着地に使用した際の姿勢が安定するまでに要した時間を比較することにより、両者の姿勢制御能に違いがあるかどうかを検討した。

対象と方法

当院勤務の女性看護師から、現在スポーツを継続もしくはごく最近まで行っており、本研究に同意していただいた者を対象とした。下肢の手術の既往のあるもの、および下肢に何らかの愁訴を有しているものは除外し、健常女性 40 名(平均年齢 26.5 才 21~44 才)を対象とした。なお、本研究は当院の倫理委員会の承認を得て行い、また、対象者には事前に本研究の目的、実験内容、実験に際するリスクを十分に説明し同意を得た。

1. アンケート調査

調査項目を、利き手(ボールを投げやすい方の手)、利き脚(ボールを蹴りやすい方の脚)、軸脚(利き脚と対側の脚)、幅踏み切り脚(走幅跳時に踏み切りに使用しやすいほうの脚)、幅振り上げ脚(幅踏み切り脚と対側の脚)、高踏み切り脚(走高跳時に踏み切りに使用しやすいほうの脚)、高振り上げ脚(高踏み切り脚と対側の脚)と定義し、アンケート調査を行った。走幅跳と走高跳の項目については、実際に検査室内で試技を行わせ判定した。

2. 計測法

計測には、加速度・角速度計内蔵メガネ型ウェアラブルセンサー(JINS MEME MT, JINS Inc.)を使用した(図1)。同センサー(感度 4096LSB/g, ゼロ G オフセット $\pm 60\text{mg}$, 非直線性誤差 $\pm 0.5\%$)を装着し、高さ 20cm のステップ台上に両手を腰に当てた状態で片脚立位の状態をとらせ、被験者のタイミングで前方約 20cm のポイントを目標に同側下肢による片脚着地動作を行わせた(図2)。着地後に可能な限り短時間で姿勢を安定するように指示し、目視で安定するまでの加速度データを採取した。両下肢各 3 回、計 6 回試行させたが、片脚着地に失敗した場合には、再度行わせた。

採取した加速度データは、データ処理ソフトウェア(MEME Logger, S. Ishimaru)を使用しスマートフォンにデータを記録し、これをコンピュータに cvs データとして転送した。加速度は、50ms 毎に 1 単位あたり 63mG(計測可能範囲



図1 計測デバイス(加速度・角速度計内蔵メガネ型ウェアラブルセンサーの JINS MEME MT)

± 127 単位, $\pm 8\text{G}$)で記録された。

3. データ解析

片脚着地後の姿勢安定状態の基準を決定するため、着地に成功し姿勢安定状態にある計測後半で最も安定している 250ms 区間を抽出した。前後・左右方向への加速度をもとに、それぞれの方向への標準偏差を求め、加速度が $\pm 3\text{SD}$ 以内である場合を姿勢安定状態と定義した。着地直後(垂直方向の加速度が急激に減少した時点)から、前後・左右方向への加速度が、250ms 以上にわたり、両方とも安定状態となるまでに要した時間を計測し、これを安定達成時間とした。この安定達成時間を、利き脚と軸脚、幅踏み切り脚と幅振り上げ脚、高踏み切り脚と高振り上げ脚との間で比較した。

統計は、対応のある t 検定を使用し、有意水準を 5% 未満とした。

結果

今回のアンケート調査結果を表 1 に示した。利き手側と利き脚側との一致率は 97.5% で、軸脚側と幅踏み切り脚側との一致率は 34.4%、軸脚側と高踏み切り脚側との一致率は 89.7%、幅踏み切り脚側と高踏み切り脚側との一致率は 32.3% であった(幅踏み切り脚と高踏み切り脚は、不明例を除く)。



図2 被験者の着地動作

表1 アンケート調査結果

	右	左	不明
利き手	38	2	0
利き脚	39	1	0
幅踏み切り脚	22	10	8
高踏み切り脚	3	36	1

姿勢安定状態を定義するために求めた加速度の標準偏差は、前後・左右方向へそれぞれ0.215単位(13.5mG)、0.249単位(15.7mG)であった。そのため前後・左右とも加速度が2単位未満(126mG未満)で推移していれば姿勢安定状態にあると定義した(図3)。

安定達成時間の平均値は、利き脚0.726±0.351s、軸脚0.856±0.488s、幅踏み切り脚0.739±0.322s、幅振り上げ脚0.808±0.405s、高踏み切り脚0.913±0.489s、高振り上げ脚0.667±0.333sであった。利き脚と軸脚、幅踏み切り脚と幅振り上げ脚との間には有意差は認められず(それぞれp=0.135, p=0.440)、高踏み切り脚と高振り上げ脚との間においてのみ有意差が認められた(p<0.005)(図4)。

考 察

姿勢制御の評価法として、重心動揺計、床反力計、ビデオ撮影像による分析等があるが、今回は、加速度・角速度計内蔵メガネ型ウェアラブルセンサーを使用し評価した。過去の報告では、加速度計で得られた加速度データは、重心動揺計や床反力計の足圧中心データや、ビデオ撮影像から算出した加速度データと相関していることが示されており⁶⁻⁹⁾、加速度計を使用した姿勢制御能の評価は信頼性も高く、有効であるとの報告も多い^{10,11)}。また、加速度計を、頭部、体幹部(腰部等)に装着した場合の加速度データも、概ね相関していることが報告されている¹²⁾。今回使用した加速度・角速度計内蔵メガネ型ウェアラブルセンサーを使用することのメリットは、他の計測法による使用機材と比較すると安価であり、またデータ採取が加速度・角速度計内蔵メガネ型ウェアラブルセンサーとスマートフォンのみで簡便に行える点が挙げられる。しかし計測可能な時間の最小単位は50msであるため、着地後50msec以内に発生するとされているACL損傷では詳細な受傷動作解析には適していない¹³⁾。さらに得られる加速度の感度は4096LSB/gであり、他機種より感度が劣る。ま

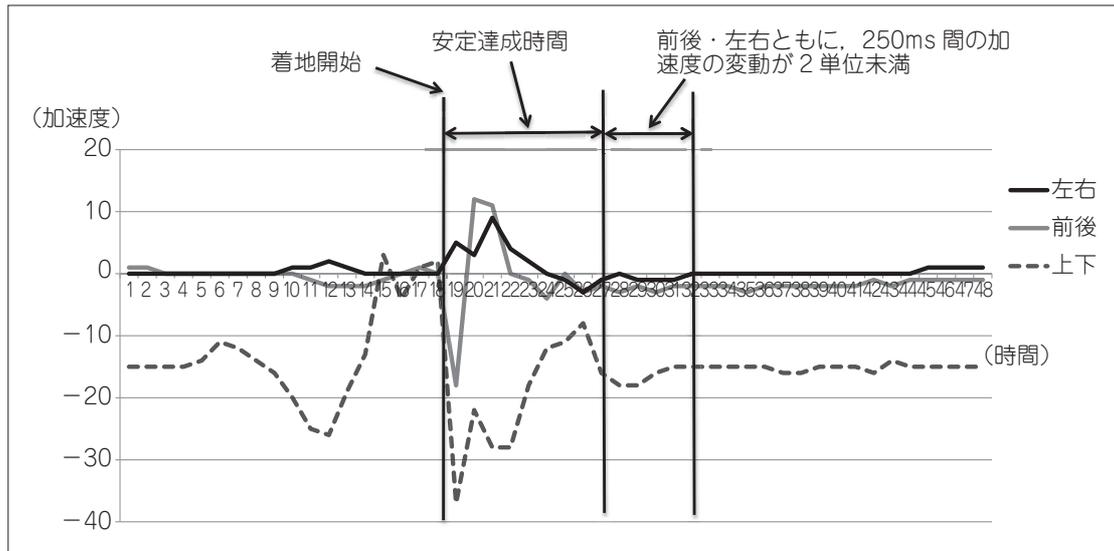


図 3 検査データ値の分析法

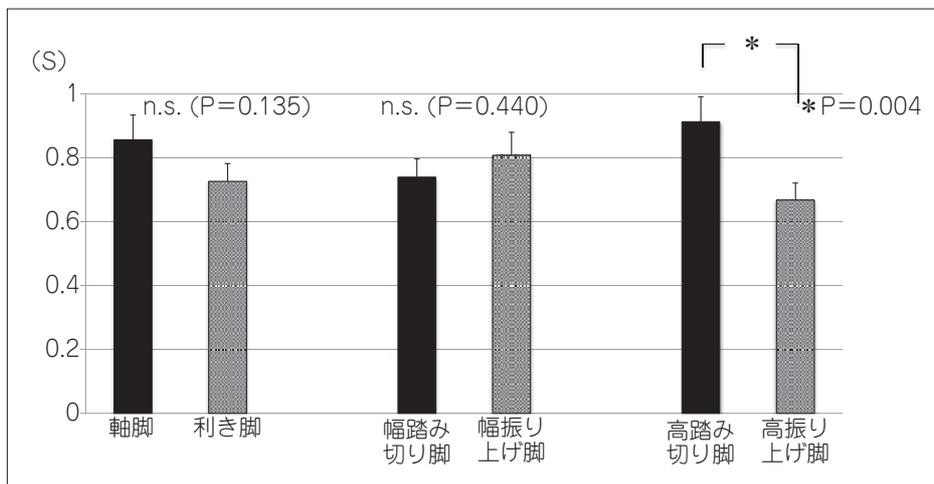


図 4 安定達成時間の比較

た、得られたデータの基線が常に 0 に一致する訳ではないため、症例間で加速度を比較する場合に、煩雑なデータ処理が必要であることも欠点として挙げられる。今回の調査では、片脚着地後の姿勢安定状態における前後・左右方向の加速度の変動が 2 単位未満 (126mG 未満) であったため、これを姿勢安定の指標とした。

我々は以前、走高跳の踏み切り脚に使用する脚側と、初回非接触型 ACL 損傷側が高率に一致していたことを報告した⁵⁾。今回の調査でも、片脚着地動作において、高踏み切り脚のほうが、高振り上げ脚よりも、姿勢制御能が劣っていることが判明した。利き脚と軸脚、幅踏み切り脚と幅振り上げ脚との比較においては、有意差が認められな

かったことから、片脚着地動作においては、高踏み切り脚と高振り上げ脚との間にのみ、非対称性があることが示唆された。また、今回のアンケート調査において、軸脚側と高踏み切り脚側とが一致しない症例、つまり、ボールを蹴る脚を走高跳の踏み切り脚に使用する症例が約 10% 存在していた。同様の症例は、我々が以前行った、ACL 損傷例での調査でも 23% 存在していた⁵⁾。また走幅跳と走高跳は、同じ跳躍競技であるにも関わらず、その踏み切り脚側の一致率は約 30% と低く、さらに踏み切り脚側が不明であった症例は、走幅跳で 20%、走高跳で 2.5% 存在していた。このように、軸脚側、幅踏み切り脚側、高踏み切り脚側の三者は必ず一致するものではなく、また高踏み切

り脚側でのみ着地時の姿勢制御能が劣っていることが今回の調査で判明した。走高跳時に使用する踏み切り脚は踏み切り動作には適していても、着地動作には不向きである可能性があり、走高跳の踏み切り脚側と非接触型 ACL 損傷側とが高率に一致する要因の一つと思われた。女性症例の ACL 損傷予防のためには、走高跳の踏み切り脚についての概念も念頭に置く必要があると思われた。

本来、今回のような調査には活動レベルの高い健常アスリートを対象とすべきであるが、今回は活動レベルが低い女性看護師を対象とした点が限界としてあげられる。また今回の調査は片脚着地時の頭部の安定性のみを評価しており、膝関節が実際にどのような動きをしているのかについては不明のままである。そのため、今回の結果が、活動レベルの高い症例についても当てはまるのかどうか、また走高跳の踏み切り脚側を片脚着地動作に使用した際に、実際に膝関節が ACL 損傷を受傷しやすいような危険な動きをしているのかどうかを明らかにすることが今後の課題である。

まとめ

片脚着地後の姿勢安定までの時間を比較した結果、利き脚と軸脚、幅踏み切り脚と幅振り上げ脚との間には、有意差が認められなかったが、高踏み切り脚と高振り上げ脚との間においてのみ有意差が認められ、高踏み切り脚で着地した場合、姿勢安定までに要した時間は有意に遅延していた。

女性における高踏み切り脚は、片脚着地時の姿勢制御能が劣っており、ACL 損傷側と高率に一致する要因の一つと思われた。

女性症例の ACL 損傷予防のために、走高跳の踏み切り脚側を、着地動作に使用する場合には、注意を要する。

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) 井原秀俊, 高山正伸, 福本貴彦, 下沖典子. 非接触性 ACL 損傷における性差・左右差. 整形外科と災害外科. 2005; 54(2): 241-246.
- 2) Ruedl, G, Webhofer, M, Helle, K, Strobl, M, Schranz, A, Fink, C, Gatterer, H, Burtscher, M. Leg Dominance Is a Risk Factor for Noncontact Anterior

Cruciate Ligament Injuries in Female Recreational Skiers. *Am J Sports Med.* 2012; 40(6): 1269-1273.

- 3) Brophy, R, Silvers, HJ, Gonzales, T, Mandelbaum, BR. Gender influence: the role of leg dominance in ACL injury among soccer players. *Br J Sports Med.* 2010; 44(10): 694-697.
- 4) Negrete, RJ, Schick, EA, Cooper, JP. Lower-limb dominance as a possible etiologic factor in noncontact anterior cruciate ligament tears. *J Strength Cond Res.* 2007; 21(1): 270-273.
- 5) 安永 亨. 前十字靭帯損傷と踏み切り脚との関係. 日本整形外科学スポーツ医学会雑誌. 2009; 29(2): 113-117.
- 6) Mayagoitia, RE, Lotters, JC, Veltink, PH, Hermens, H. Standing balance evaluation using a triaxial accelerometer. *Gait Posture.* 2002; 16(1): 55-59.
- 7) Alessandrini, M, Micarelli, A, Viziano, A, Pavone, I, Costantini, G, Casali, D, Paolozzo, F, Saggio, G. Body-worn triaxial accelerometer coherence and reliability related to static posturography in unilateral vestibular failure. *Acta Otorhinolaryngol Ital.* 2017; 37(3): 231-236.
- 8) Lugade, V, Fortune, E, Morrow, M, Kaufman, K. Validity of Using Tri-Axial Accelerometers to Measure Human Movement-Part 1: Posture and Movement Detection. *Med Eng phys.* 2014; 36(2): 169-176.
- 9) 水澤一樹, 江原義弘, 田中悠也, 古川勝弥. 静的立位姿勢保持におけるバランス評価指標の相互関係. 総合リハ. 2010; 38(2): 157-164.
- 10) Saunders, NW, Koutakis, P, Kloos, AD, Kegelmeier, DA, Dicke, JD, Devor, ST. Reliability and validity of wireless accelerometer for the assessment of postural sway. *J Appl Biomech.* 2015; 31(3): 159-163.
- 11) Martinez, MR, Sekine, M, Tamura, T. Postural sway parameters using a triaxial accelerometer: comparing elderly and young healthy adults. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2012; 15(9): 899-910.
- 12) 柊 幸伸. 3次元加速度計による重心動揺評価. 理学療法科学. 2004; 19(4): 305-309.
- 13) Krosshaug, T, Nakamae, A, Boden, BP, Engebretsen, L, Smith, G, Slauterbeck, JR, Hewett, TE, Bahr, R. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury

Analysis of the characteristics of the take-off leg in high jump for postural control during single-leg landing

Yasunaga, T.*

* Iwaki Kyoritsu Hospital

Key words: take-off leg, single-leg landing, postural control

[Abstract] We have previously reported that the take-off leg side in high jump and the leg side of noncontact injury of anterior cruciate ligament rupture were matched at a high rate, especially in female cases. We examined whether there is any difference in postural control during the landing motion between the take-off leg in high jump and the contralateral leg. Forty female nurses (average age, 26.5 years) working at our hospital, who usually participate in sports activities, were surveyed. The subjects were wearing an eyeglass type tri-axis accelerometer and were instructed to land on one leg from a height of 20 cm, and the time until posture stabilization was measured. The time to stabilize the posture was significantly delayed when landing on the take-off leg in high jump (0.913 ± 0.489 s) compared to the contralateral leg (0.667 ± 0.333 s), ($p < 0.005$).