

# ジャンプ着地時の Knee in と筋力・パフォーマンス・形態的要因の関係性について～健常若年女性を用いた予備的検証～

1020056 今枝 寛和 1020130 加藤 雄介 1020247 内藤 祐馬

【要旨】本研究の目的は、女性のジャンプ着地時に見られる過度な膝外反肢位と身体機能の関連性について三次元動作分析と身体機能評価を用いて、予備的に検証することである。対象は健常女性6名とし、三次元動作分析からはジャンプ着地時の膝外反角、骨盤水平角、床反力垂直方向成分（以下、Fz）を、身体機能評価からは筋力、柔軟性、パフォーマンス、そして形態的要因を指標に検証を行った。解析相はFzおよび膝外反角最大時とし、各角度と身体機能評価の相関性を確認した。その結果、膝外反角と前捻角、膝外反角とパフォーマンス、そして、前捻角とパフォーマンスとに有意に高い相関性を確認した。女性の膝靭帯損傷予防プログラムの多くは、筋力とパフォーマンスに注目されることが殆どだが、効果・機序は散見し、未だ不明な点が多い。我々が行った予備的検証の結果、股関節の形態的要因とパフォーマンスに有意に高い相関性を認めた。そのため、膝靭帯損傷にみられる膝外反肢位は股関節の骨形態も一要因かもしれない。

【Key words】非接触型前十字靭帯損傷, Drop vertical Jump on one foot test, 骨形態

## 【目的】

非接触型前十字靭帯損傷（以下 ACL 損傷）は、男性よりも女性に多く、発生率は2～8倍とされている<sup>1)</sup>。その代表的な受傷肢位は、膝関節の軽度屈曲・外反、そして脛骨外旋、いわゆる“Knee in Toe out”（以下、Knee in）が知られ、特にジャンプ着地動作にてとりやすいとされている<sup>2)</sup>。その原因は、形態的要因<sup>3)</sup>や内分泌的要因<sup>3)</sup>等とされているが、決定的な予防要因には未だ至っていない。

現在、ACL 損傷を予防するためのプログラムは、バスケットボール、サッカー、ハンドボール等、多くのスポーツ種目等にて提案されて、その内容は、筋力、柔軟性、アジリティ、ジャンプ、バランス、動作指導の6項目のいずれかを互いに組み合わせている<sup>4)7)</sup>。しかし、スポーツ種目によって、また提案者によっては、目的が異なり、また、予防効果や効果機序にも一定の見解がない<sup>4)7)</sup>。さらに、これらのプログラムは、Knee in の予防に関与するとされる筋力や柔軟性、そしてバランス機能<sup>3)7)</sup>に着眼点が置かれているものの、一般的な、本質的な原因として知られる形態的要因は、殆ど考慮されていない。さらに形態的要因は、ACL 損傷の危険性をスクリーニングする簡易指標にとどまっており、プログラムの実施には考慮されていない。また近年では、股関節運動の機能不全がスポーツ膝障害の一要因とされているため<sup>3)</sup>、股関節の形態的要因も Knee in へ影響を及ぼすかを検証することは重要である。

以上より、本研究は非接触型 ACL 損傷の代表的な受傷肢位とされる Knee in と一般的に関わりが深いとされる筋力、柔軟性、パフォーマンス以外に、近年、膝スポーツ障害とかかわりが深いとされる股関節の形態的要因との関係を明らかにするための予備的検証を行うことである。

## 【方法】

### 1. 対象者

対象者は、本研究の目的と内容に同意が得られた下肢に重篤な整形外科的疾患の既往のない健常若年女性6名（年齢  $22 \pm 0$  歳、身長  $159 \pm 6.13$  cm、体重  $52.5 \pm 6.95$  kg、利き足：全員右）である。なお、利き足は井原らの報告<sup>8)</sup>に準じて判定をした。

### 2. 三次元動作分析

計測機器は、アニマ社製三次元動作解析装置 (MA2000) とカメラ6台、床反力計4枚を使用した。なお、各機器の Sampling 周波数は60Hzとした。床反力計は、前後左右に計4枚設置されている。そのため、静止立位時および実験試技時の離床と着床のタイミングや姿勢、そして床反力のリアルタイムな変化を正確に確認することができる。反射マーカーは、両肩峰、両上前腸骨棘、両大転子、両膝関節中点、両外果の計10点に貼付した。パラメータは、前額面上にて床面水平線―両上前腸骨棘を結んだ線からなる相対角（以下、骨盤水平角）と右大転子―右膝関節、右膝関節中点―右外果を結んだ線からなる絶対角（以下、右膝外反角）として定義した。なお、本研究で用いた各角度の極性は、水平方向成分をy方向（右：+，左：-）、前後方向成分をx方向（前：+，後：-）と定義した。つまり、本研究では、骨盤水平角が大きくなれば、骨盤は右方向に傾き、膝外反角が小さくなれば、膝は Knee in が強くなることを示す（図1）。

### 3. 実験試技

実験試技は、ACL 損傷の受傷原因の kinematics を検証するために使われる Drop vertical Jump test（以下、DV-T）を用いた<sup>9)</sup>。DV-Tは、被験者を床反力計2枚上に置かれた

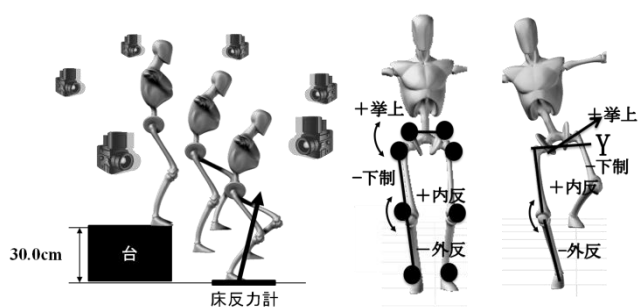


図 1. 使用機器, マーカー位置, 角度設定

高さ 30cm の台に両足で乗せ、計測者の指示によって、非利き足で離床し、利き足側の着床場所に置かれた床反力計へ降りるように動作させた (図 2)。なお被験者には、動作が安定するまで、十分な練習を行わせた。動作の正確性は、離床から着床までの膝外反角の変化をリアルタイムに確認した。解析相は先行研究<sup>10)</sup>に基づき、Fz 最大値にて膝外反角が最大となる点とした。

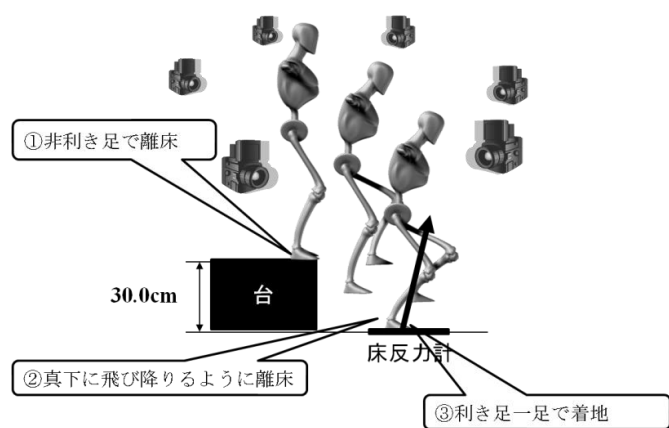


図 2. Drop vertical Jump test

#### 4. 身体機能評価

身体機能評価は、筋力、柔軟性、パフォーマンス、形態的要因について行った。筋力は、体幹屈筋群、股関節外転筋群を対象とした。体幹屈筋群は、山本らの報告<sup>11)</sup>に準じ、30 秒間最大上体おしを行わせ、その時の実施回数を計測した。股関節外転筋群の筋力は、側臥位にて Hand-Held Dynamometer (以下 HHD) を用いた等尺性筋力を利き足に対して計測した<sup>12)</sup>。本研究では、計測した 2 回の測定結果のうち、最大値を採用し、被験者の体重で除した値を採用した。柔軟性は、佐々木らの報告<sup>13)</sup>に準じ指床間距離を計測した。また、パフォーマンステストでは、Wilkらの報告<sup>14)</sup>に準じて Side-to-side ホップテストを計測した。このテストは、床に 2 本のカラーテープを 30cm 間隔に平行になるよう貼付し、被験者が利き足一足にて 10 往復左

右へジャンプで超えるものである。結果は、これに要した時間とし、カラーテープを踏んだ場合や片脚がついた場合は、再計測とした。

形態的要因は、下肢全体を知るために、Femoro tibial angle (以下 FTA)<sup>13)</sup>を、股関節を知るために、Craig test を用いて前捻角を計測した<sup>15)</sup>。この方法は、腹臥位にて検査側を股関節 0 度、膝関節 90 度を開始肢位とし、股関節を内旋した際、大転子が外側に最も突出した位置での床への垂直線と脛骨長軸のなす角を計測するものである。そして、今回我々は、前額面上での骨盤-足幅径の関係を、骨盤径(両上前腸骨棘間距離)に対する足幅(両第 5 中足頭間距離)の割合として、Ankle/Plesis 比(以下 AP 比)を算出した。これは、足幅で作られる支持基底面に対する骨盤径の割合を示すものであると考えている。つまり、骨盤径が広く、足幅が狭いもの程、AP 比が高く、狭い支持基底面で大きな骨盤帯を動かすと考えている。

#### 5. 統計学的検討

統計処理は、骨盤水平角と膝外反角の相関性について、そして骨盤水平角・膝外反角のそれぞれと各身体機能評価(筋力、柔軟性、パフォーマンス、形態的要因)との相関性についてピアソンの相関係数を用いて統計学的検討を行った。

#### 【結果】

被験者 6 名の三次元動作解析結果 (Fz, 膝外反角, 骨盤水平角) を時間で正規化した時空間パラメータの変化を示す (図 3)。図 3 より、Fz が最大値を示すとき、膝外反角も同様に最大値を示し、いわゆる Knee in であることが確認され、先行研究<sup>10)</sup>と同様の結果となった。また、膝外反角の増加に伴い、骨盤水平角も徐々に低下していく様子が確認された。つまり、Knee in が最大値を示す時、骨盤は、右方向の接地側へ大きく傾く傾向性が確認された。そのため、骨盤水平角と膝外反角の関係性を確認したところ、 $r=0.98$ ,  $p \leq 0.01$  と有意に高い相関性を確認した (図 4)。次に、三次元動作分析にて高い相関性の見られた骨盤水平角、膝外反角と身体機能評価の各項目について相関性を確認した (表 1)。表 1 に示すように骨盤水平角とパフォーマンス、AP 比、前捻角に、また膝外反角とパフォーマンス、前捻角に高い相関性が確認された。また、一般的に重要とされる筋力、柔軟性<sup>13)</sup>との相関性は確認できなかった。そして、表 1 にて高い相関性が確認された各項目について、図 5~9 に示す。

#### 【考察】

今回の結果から、膝外反角はパフォーマンスと AP 比、そして前捻角との強い相関性を示し、非接触型 ACL 損傷

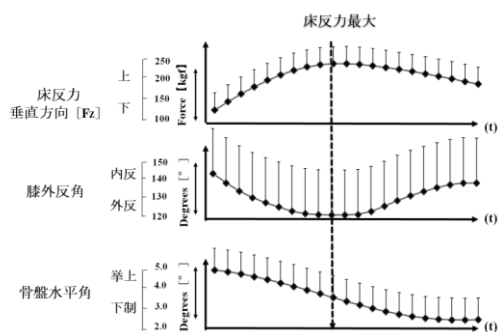


図3. 動作分析

表1. 動作分析と身体機能評価の相関

	身体機能評価						
	筋力		柔軟性	パフォーマンス	骨形態		
	腹筋	中殿筋	指床間距離	Side-to-sideT	AP比	FTA	前捻角
	動作分析	骨盤水平角	膝外反角	床反力	膝外反角	前捻角	骨盤水平角
	0.1	0.06	-0.18	<b>*0.92</b>	<b>*-0.83</b>	0.16	<b>*-0.88</b>
	0.1	0.01	0.02	<b>*0.95</b>	0.75	0.12	<b>*0.82</b>

\* p<0.05

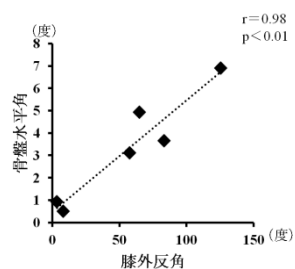


図4. 骨盤水平角と膝外反角

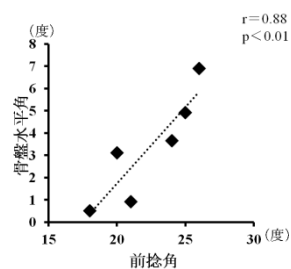


図5. 骨盤水平角と前捻角

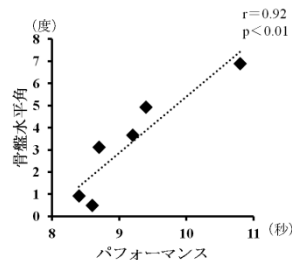


図6. 骨盤水平角とパフォーマンス

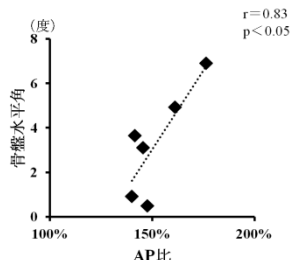


図7. 骨盤水平角とAP比

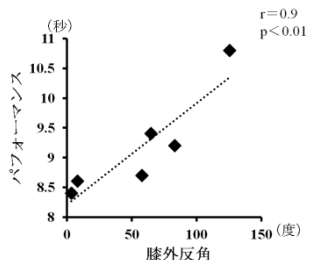


図8. 膝外反角とパフォーマンス

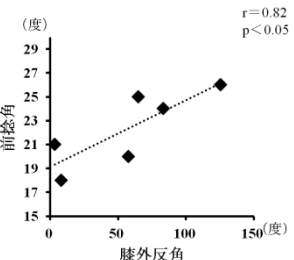


図9. 膝外反角と前捻角

受傷者へ一般的に関係するとされる筋力<sup>10)</sup>や柔軟性<sup>10)</sup>とは相関性を示さないことが同われた。この結果は、ジャンプ着地動作に見られる膝外反角の増大、つまり Knee in は若年健常女性の場合、筋力や柔軟性よりもパフォーマンス

スや股関節の形態的要因に影響される可能性が高いことを示すものと思われる。

一般的に Knee in の原因として知られている FTA や Q-angle 等の形態的要因は、ACL 損傷の危険性をスクリーニングするだけの簡易指標にとどまっており、プログラムの内容には十分考慮されていない<sup>4,7)</sup>。また、前捻角に関しては、一般的に股関節の病態運動に関与すると周知されているが、近年では膝関節の病態運動にも関与する<sup>3)</sup>とされ、下肢関節の多角的な病態解析に重要と考えることができる。

まず、パフォーマンスと Knee in の関係性について述べる。パフォーマンスは、筋力、柔軟性、バランス等、多様な身体機能を含み、その総合的な能力として測定される<sup>14)</sup>。また、バランス能力は、パフォーマンスとの関係性が強いとされており<sup>16)</sup>、今回の結果が示したパフォーマンスとバランス能力、そして股関節の形態的要因との関係は、形態的要因がバランス能力に何らかの影響を示すものと思われる。

股関節の形態的要因については、前捻角の増加が見かけ上の股関節内旋角度の増加をもたらし、膝関節の捻転、膝外反を増加させる<sup>10)</sup>。AP 比に関係する骨盤の形態的要因は、これに問題があることで、腸腰筋やハムストリングス等、腰椎-骨盤-股関節複合体に関わる筋群のフォースカップル機能を破綻させる<sup>17)</sup>。骨盤径の増加によって、下肢運動に伴う骨盤回旋とその時生じる慣性力を増加させる<sup>18)</sup>。骨盤回旋とその時生じる慣性力は、股関節内旋や、慣性力による膝関節への力学的負荷を増加させる<sup>19)</sup>と報告され、本研究の結果と一致する点が多くある。つまり、非接触型 ACL 損傷を既往に持たないような一般健常女性においても、骨盤-股関節の形態的要因によって、膝関節も含めた下肢全体のフォースカップル機能に過度な力学的負荷を強いる可能性がある。

近年、非接触性 ACL 損傷受傷のメカニズムとして、大腿四頭筋筋力、ハムストリングス筋力、大腿四頭筋/ハムストリングス筋力比 (Q/H 比)、骨盤周囲筋筋力、筋パフォーマンス、アジリティ、コンディショニング不良、活動のタイミング、柔軟性等、機能面から能力面まで諸説報告<sup>3-7) 10), 13)</sup>されている。しかし、共通して言えることは、形態的要因という個体要因の存在である。例えば、筋活動のタイミングで考えれば、今回着眼した前捻角がいわゆる健常値と異なれば、前捻した分、筋の作用するベクトルは変わり、筋活動のタイミングは変わる<sup>20)</sup>。もちろん個体要因は、理学療法士の適応範囲ではないが、理学療法士がそれを知り、それを考慮したテーラーメイドな要素を含む予

防プログラムを立案することが今後の予防を考えるために、我々は重要と考える。

本研究は、被験者数が少なく、統計学的な意味付けは高いとは言えない。また、方法に関しても、三次元動作解析では、膝外反角を絶対角から正確に測定することは難しい<sup>2)</sup>とされている。身体機能評価の項目に関しても、大腿四頭筋筋力や腓腹筋等の他の筋力、Q-angle や膝蓋骨アライメント等の他の形態的要因も評価し、より多角的に検証する必要性があったものと思われる。今回の研究は、あくまでも予備的検証にとどまるものと思われるため、今後より詳細な検証が必要になるものと思われる。

#### 【結語】

膝外反肢位と身体機能(筋力、柔軟性、パフォーマンス、形態的要因)との関係性を評価することを目的とし、三次元動作解析と各種身体機能検査を行った。その結果、膝外反角と前捻角、膝外反角とパフォーマンス、そして、前捻角とパフォーマンスに有意な高い相関を確認した。膝靭帯損傷にみられる膝外反は、骨盤径、前捻角など形態的要因に由来する可能性があることを示し、ACL 損傷の予防スクリーニングに役立つ可能性が示唆された。

#### 【謝辞】

本研究にご協力頂いた被験者の皆様、ご指導を賜りました阿部友和先生をはじめ諸先生方に心から深くお礼を申し上げます。

#### 【参考文献】

1. Miyasaka KC, Daniel DM, et al. The incidence of knee ligament injuries in the general population. *Am J Knee Surg* 4:3-8, 1991.
2. Boden BP, Dean GS, et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics* 23:573-578, 2000.
3. 副林徹, 浦田和芳. ACL 損傷予防プログラムの科学的基礎, (編)渡邊裕之, 鈴川仁人, 他. 東京, 三報社印刷株式会社, 2008.
4. Hewett TE, Lindenfeld TN, et al. The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes, a prospective study. *Am J Sports Med* 27:699-706, 1999.
5. Myklebust G, Engebretsen L, et al. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players, a prospective intervention study over three seasons. *Clin J Sport Med* 13:71-8, 2003.
6. Mandelbaum BR, Silvers HJ, et al. Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes 2-year follow-up. *Am J Sports Med* 33:1003-10, 2005.

7. Olsen OE, Myklebust G, et al. Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: cluster randomised controlled trial. *Bmj* 330:449, 2005.
8. 井原秀俊, 高山正伸, 他. 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* 54 : (2)241-245, 2005.
9. 小笠原一性, 吉永豊, 他. 片脚着地時に見られた下肢の kinematics の性差. *体力科学* 55 : 403-412, 1995.
10. Yasuharu Nagano, Hirofumi Ida, et al. Biomechanical characteristics of the knee joint in female athletes during tasks associated with anterior cruciate ligament injury. *The Knee* 14:218-223, 2007.
11. 山本利春, 吉田高教, 他. 測定と評価. 東京, 有限会社ブックハウス・エイチディ, pp117-118, 2001.
12. 近藤由美, 青木喜満, 他. Hand-Held Dynamometer による股関節外転筋力測定の再現性一側臥位における簡便な測定方法の検討一. *北海道理学療法* 25 巻:33-36, 2008.
13. 佐々木静, 石橋恭介, 他. 体幹変位に着目した前十字靭帯損傷の受傷機転解析. *青森スポーツ研誌*, Vol21, 2012.
14. Wilk KE, Romaniello WT, et al. The relationship between subjective knee scores, isokinetic testing, and functional testing in the ACL-reconstructed knee. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1994; 20(2): 60-73.
15. 金子雅明, 岡崎倫江, 他. 前十字靭帯損傷メカニズムの検討一下肢アライメントが片脚着地動作と筋活動に及ぼす影響一. *日本臨床スポーツ医学会誌* : Vol. 19, No. 1, 2011.
16. 勝田茜. ジャンプ能力と身体運動機能の関連-ACL 損傷予防の視点から. *Japanese physical therapy association*, 2006.
17. 藤井康成, 加賀谷善教, 他. マルアライメント症候群の予防 - 骨盤の mobility の新しい評価法の有用性. *臨床スポーツ医学* Vol. 24, No. 12 : 1301 - 1307, 2007.
18. 前野正登. 女子バスケットボールにおける前十字靭帯損傷トレーニング. *Training journal*, 2011.
19. 栗井瞳, 木村護郎, 他. 下肢ダイナミックアライメントの相違が1ステップ動作時の床反力に及ぼす影響. *理学療法科学*, Vol.19, No. 4, 2004.
20. 林典雄. 運動療法のための機能解剖学的触診技術. 株式会社メディカルビュー社, pp19-20, 2006.
21. 秋元剛, 浦辺幸夫, 他. 片脚ジャンプ着地時の膝関節外反角度とハムストリング筋活動比との関係. *理学療法科学* vol.24, 137-141, 2009.

指導教員氏名 : 阿部 友和