

運動器理学療法研究部会

膝関節疾患に対する動作解析の活用*

永野 康 治**

はじめに

膝関節スポーツ外傷の代表例として、前十字靱帯（以下、ACL）損傷が挙げられる。ACL損傷のおもな受傷機転として着地動作や切り返し動作があり、スポーツ復帰や予防的にACL損傷リスクを減少させるためにも、着地動作や切り返し動作の理解および評価が必要となる。そこで、本稿では着地動作、切り返し動作について、動作解析を用いた動作の理解と、各々の動作について動作解析の結果に基づいたスポーツ復帰時や予防における動作改善方法について述べたい。

着地動作の理解と動作改善方策

着地動作については、着地中の膝外反（いわゆる Knee-In 姿勢）が ACL 損傷受傷時に観察される¹⁾。また、Hewett ら²⁾の報告によると、両脚でのドロップジャンプにおいて膝外転が大きく、膝屈曲の小さい選手が、ACL 損傷リスクが高かった。つまり、着地時の膝外反（外転）が ACL 損傷の受傷機転であるとともに、ACL 損傷のリスクファクターでもあり、復帰時や予防において改善すべき動作であるといえる。

一方、片脚着地の動作解析結果からは、両脚着地とは異なる ACL 損傷のリスクがみられる。片脚着地中の膝関節運動をみると、接地後、膝は外転、内旋方向に運動していた³⁾。この運動は解剖学的に ACL の張力を高める運動であり⁴⁾、片脚着地は ACL 損傷リスクの高い動作であるといえる。また、片脚着地時の膝内旋変位量は男性に比べ女性で大きく、大腿直筋の活動も女性で大きかった³⁾。この性差が女性に ACL 損傷が好発する要因のひとつであると考えられた。

また、着地動作を解析する際の問題として、動作解析装置が高額であることや、一定のスペースが必要であること、測定から解析、データ算出に至るまで時間を有することが挙げられる。一方、近年一般に販売されるビデオカメラの解像度が増加し、機種によっては毎秒 200 コマ以上のハイスピード撮影が可能となっている。こうした汎用カメラを用いた二次元上の動作解析結果と三次元動作解析の関係をみると、二次元前額面上の膝外反角度と三次元上の膝外転角度は一定の回帰関係にあっ

た⁵⁾。つまり、膝外転運動の評価には、二次元上の動作解析も十分活用可能といえる。ただし、膝回旋運動については、二次元前額面上評価との回帰関係にはなく、二次元上では評価が困難であった⁵⁾。

着地動作の動作改善については、ACL 損傷予防プログラムに伴った動作変化が明らかになってきている。ACL 損傷予防プログラムはプライオメトリックの要素を含んだジャンプトレーニングやアジリティトレーニング、バランストレーニングで、トレーニング中に Knee-In 姿勢を回避する動作指導が行われるものが一般的であり⁶⁾、疫学的にも ACL 損傷を予防する効果が報告されている⁷⁾。こうした予防プログラムの着地動作に対する効果として、両脚着地時の膝外反減少が挙げられる。大学女子バスケットボール選手に対してプログラムを約 3 ヶ月行い、両脚着地時の前額面上の膝外反角度を介入前後で計測したところ、介入前に膝外転の大きかった選手は介入後に外転角度が減少していた⁸⁾（図 1）。一方、片脚着地における効果をみると、5 週間の介入後、膝外転、内旋運動については変化がみられなかったものの、屈曲角度が増加していた⁹⁾。これらの結果は、ACL 損傷予防プログラムが着地動作を変化させることを示しており、特に両脚着地では膝外反を減少させることで ACL 損傷リスクを減少させ、片脚着地では膝屈曲を増加させ ACL 損傷リスクの高い浅い屈曲位での膝外転、内旋を減少させて ACL 損傷リスクを減少させたと考えられる。

切り返し動作の理解と動作改善方策

切り返し動作は着地動作と並び、代表的な ACL 損傷の受傷機転動作である¹⁾。そのため、切り返し動作中の ACL 損傷リスクを検討すべく、切り返し動作の動作解析も数多く行われている。足部方向と反対方向への切り返し動作と片脚着地の膝関節運動を比較すると、切り返し動作では膝関節の外転変位量、内旋変位量、内旋変化率がともに大きかった¹⁰⁾。つまり、方向転換動作は、より ACL 損傷のリスクの高い動作であるといえる。

一方、切り返し動作は着地動作に比較して連続的な動作であるため、膝関節の運動について臨床的な評価を難しくしている。そこで、切り返し動作の評価は膝関節のみならず、体幹を含めた全身運動として評価することが必要である。切り返し時の体幹位置と膝関節運動の関連を見ると、体幹前傾角度と膝屈曲角度に正の相関関係があり、体幹前傾角度と膝内旋変位量に負の相関関係がみられた¹¹⁾。つまり、体幹前傾角度の大きい

* Practical Use of Motion Analysis for Knee Injury

** 新潟医療福祉大学健康科学部健康スポーツ学科

〒950-3198 新潟県新潟市北区鳥見町1398

Yasuharu Nagano, PT, PhD: Department of Health and Sports, Niigata University of Health and Welfare

キーワード：着地、切り返し、前十字靱帯損傷

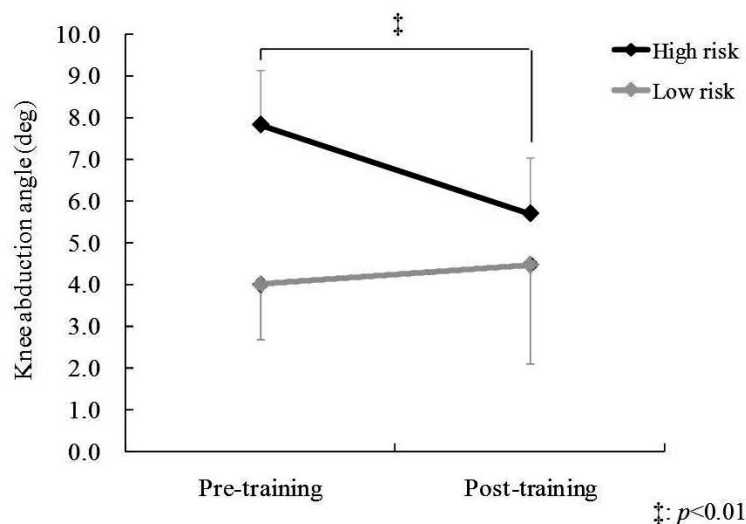


図 1 両脚着地時の膝外転角度に対する、予防トレーニングの効果
High risk 群：介入前の外転角度大、Low risk 群：介入前の外転角度小

選手は、膝関節の屈曲角度が大きく、内旋変位量が小さいという、ACL 損傷リスクの小さい動作をしていたといえる。ACL 損傷場面においても、特徴的な体幹姿勢が見られており¹²⁾¹³⁾、体幹位置と膝関節運動を合わせて評価することは、ACL 損傷場面を避けるためにも必要である。また、臨床的にも比較的评价の容易な体幹位置の評価を行うことで、膝関節の運動や ACL 損傷リスクを合わせて評価することが可能と考えられる。

繰り返し動作の動作改善については、着地動作ほど報告がなく、ここでは女性の繰り返し動作の特徴から動作改善へのポイントを挙げたい。女性の繰り返し動作特徴として、体幹前傾が小さく、繰り返し脚と逆方向への側方傾斜が大きく、膝屈曲角度が小さい¹¹⁾。また、前額面上での体幹位置が繰り返し脚に近い¹⁴⁾。こうした女性における特徴と、上述した体幹前傾角度と膝内旋変位量との関係を踏まえると、繰り返し時に体幹前傾を促すことが ACL 損傷リスクを軽減させると考えられる。しかし、我々の研究によると、動作時に体幹前傾指示を与えたのみでは、女性では膝外反モーメント（床反力が膝に与えるモーメント）が増加する傾向を示した¹⁵⁾。これは女性では体幹前傾に伴う支持脚の体幹・股関節への負荷の増加に抗することができないため、結果的に体幹側方傾斜が増加し、膝外反モーメントが増加したと考えられる（図 2）。つまり、女性の繰り返し動作の改善には、動作指導のみではなく体幹・股関節の強化を行い、並行して十分に体幹・股関節の筋力発揮を行った中で体幹前傾動作の指導が必要だと考えられる。体幹・股関節の筋力発揮のためには、骨盤の後傾、側方傾斜を避け、股関節の屈曲を十分に行った動作が必要になるが、動作解析上、骨盤の動きを捉えることは困難な場合が多い。そのため、指導にあたっては動作解析の結果を踏まえつつ、より体幹前傾の可能な姿勢・動作の指導を行っていく必要があるといえる。

まとめ

- 着地動作では膝外反、脛骨内旋運動が ACL 損傷のリスクとなる。

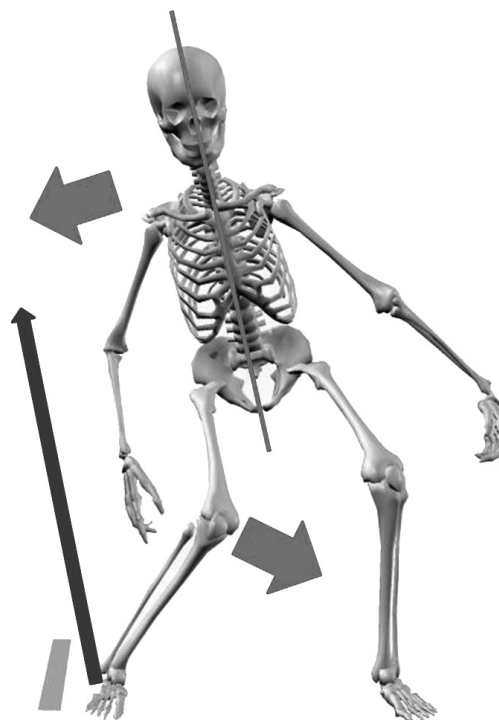


図 2 女性における支持脚への負荷が増加した際の典型的な姿勢変化

- ACL 損傷予防トレーニングにより着地時の膝外反の減少や膝屈曲の増加がもたらされる。
- 繰り返し動作では、体幹姿勢と膝運動（屈曲、内旋）が相関関係にあり、体幹前傾が ACL 損傷リスクを減少させる可能性がある。
- 女性においては、体幹前傾指示のみでは膝への負荷を減少できず、股関節、体幹の筋力強化と動作指導を並行して行う必要がある。

謝辞：研究へご指導，ご協力いただいた早稲田大学スポーツ科学学術院 福林徹教授，上武大学ビジネス情報学部 井田博史准教授，立教大学コミュニティ福祉学部 石井秀幸助教にこの場を借りて深謝いたします。

文 献

- 1) Boden BP, Dean GS, *et al.*: Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics*. 2000; 23: 573-578.
- 2) Hewett TE, Myer GD, *et al.*: Biomechanical Measures of Neuromuscular Control and Valgus Loading of the Knee Predict Anterior Cruciate Ligament Injury Risk in Female Athletes. *Am J Sports Med*. 2005; 33: 492-501.
- 3) Nagano Y, Ida H, *et al.*: Gender differences in knee kinematics and muscle activity during single limb drop landing. *Knee*. 2007; 14: 218-223.
- 4) Markolf KL, Burchfield DM, *et al.*: Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces. *J Orthop Res*. 1995; 13: 930-935.
- 5) Nagano Y, Sakagami M, *et al.*: Statistical modelling of knee valgus during a continuous jump test. *Sports Biomech*. 2008; 7: 342-350.
- 6) 永野康治：各種予防プログラム，ACL 損傷予防プログラムの科学的基礎．福林 徹，蒲田和芳（編），ナッブ，東京，2008，pp. 137-147.
- 7) Myer GD, Sugimoto D, *et al.*: The influence of age on the effectiveness of neuromuscular training to reduce anterior cruciate ligament injury in female athletes: a meta-analysis. *Am J Sports Med*. 2013; 41: 203-215.
- 8) Nagano Y, Tsuda K, *et al.*: Effect of a lower limb injury prevention program on landing position in female basketball athletes. In: Mascarenhas R (eds): *The Knee Current concept in kinematics, injury types, and treatment options*. Nova Science Publishers, New York, 2012, pp. 87-94.
- 9) Nagano Y, Ida H, *et al.*: Effects of jump and balance training on knee kinematics and electromyography of female basketball athletes during a single limb drop landing: pre-post intervention study. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol*. 2011; 3: 14.
- 10) Nagano Y, Ida H, *et al.*: Biomechanical characteristics of the knee joint in female athletes during tasks associated with anterior cruciate ligament injury. *Knee*. 2009; 16: 153-158.
- 11) Nagano Y, Ida H, *et al.*: Relationship between three-dimensional kinematics of knee and trunk motion during shuttle run cutting. *J Sports Sci*. 2011; 29: 1525-1534.
- 12) Hewett TE, Torg JS, *et al.*: 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.
- 13) Sheehan FT, Sipprell WH 3rd, *et al.*: Dynamic sagittal plane trunk control during anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med*. 2012; 40: 1068-1074.
- 14) Nagano Y, Sasaki S, *et al.*: Gender differences of trunk and lower limb positions during the cutting maneuver. *ISBS-Conference Proceedings Archive*. 2013; 31: 28.
- 15) 永野康治，石井秀幸，他：切り返し動作時の体幹前傾指示に伴う下肢運動変化の性差．*体力科学*．2011; 60: 823.