

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目： 基盤研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号： 18300219

研究課題名（和文） 膝前十字靭帯損傷メカニズムの三次元的解明と予防法の構築

研究課題名（英文） Three dimensional analysis of the anterior cruciate ligament injury of the knee and the establishment of its prevention method

研究代表者

福林 徹（FUKUBAYASHI, Toru）

早稲田大学・スポーツ科学大学院・教授

研究者番号：70114626

研究成果の概要：膝前十字靭帯損傷のメカニズム解明，およびその予防法の構築を行った．メカニズムの解明においては，Point Cluster 法を用いた三次元動作解析法により着地動作や切り返し動作を計測し，こうした動作時の脛骨の内旋および膝外反の強制が，そのメカニズムに関連していると考えられた．予防法については，バスケットボール，サッカー，スキー，テニスの各競技において外傷予防プログラムを作成し，各団体において普及，推進を行った．また，その効果検証を行った．

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	8,600,000	0	8,600,000
2007 年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2008 年度	3,200,000	960,000	4,160,000
年度			
年度			
総計	15,300,000	2,010,000	17,310,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学，スポーツ科学

キーワード：前十字靭帯損傷，受傷メカニズム，損傷予防，三次元解析，バイオメカニクス

1. 研究開始当初の背景

膝前十字靭帯（以下 ACL）の受傷メカニズムとそれに対する予防トレーニング法については 90 年代に入りスポーツ整形外科およびスポーツリハビリテーション分野で散見されるようになった．特に 99 年には Hunt Valley での非接触型 ACL 損傷の受傷メカニズムに対してのミーティングがもたれ，これ以後 ACL 損傷のリスクファクターの検討が米国スポーツ整形外科学会のプロジェク研究となっている．2005 年にはオスローで第 1 回の世界スポーツ外傷予防国際会議がもたれ ACL 損傷や肉離れ，足関節捻挫，疲

労骨折，脳震盪などの幅広いスポーツ外傷・傷害分野についてその発症メカニズム，予防のためのトレーニング法についての検討がなされた．我々はこの会議において point cluster 法の ACL 損傷メカニズム解析への応用や足関節捻挫の発症メカニズムに対するシネラジオグラフィーを用いての解析手法を発表し高い評価を得た．また国内では我々の指導により臨床スポーツ医学会（福林，2005）、整形外科スポーツ医学会，膝関節学会（2008）、体力医学会（福林，2005）等でシンポジウムや教育講演が企画され，徐々にスポーツ外傷のビデオシステムでの解析の重要

性とその予防プログラム作成の必要性が認識されてきている。特に ACL 損傷についてはスキー、サッカー、バスケットボールの女子選手を中心にその発症件数が毎年増加しているばかりでなく、小久保(野球)、中田(サッカー)選手など日本を代表するトップアスリートもこの怪我のため1年近くの競技生活の中断を余儀なくされている。ACL 損傷はその重大性、長期間の入院手術とリハビリテーションの必要性からドクター、トレーナーなどの医療サイドのみでなく監督、コーチなど現場サイドからもその発生予防の取組を望む声大きい。

2. 研究の目的

本研究では2007年度までの基盤研究(C)に引き続いて、ジャンプ着地や切り返し動作時の Point Cluster 法での生体力学解析と、受傷時のビデオフィルムでの詳細な3次元画像解析を行う。また国立スポーツ科学センターと共同で、スポーツ活動時にさけるべき危険肢位とその予防のためのトレーニング法を提言し、スポーツ諸団体を通じ運動時の傷害予防のトレーニング法と術後のリハビリテーション指導を徹底させ、傷害の発生予防をはかる。

3. 研究の方法

(1)生体力学解析

片脚着地動作の性差の検討を行った。男性18名、女性19名のバスケットボールおよびテニス選手を対象に、30cmの台上からの片脚着地動作時の膝関節運動、および大腿直筋、ハムストリングスの筋活動計測を行った。次に、女性24名のバスケットボールおよびラクロス選手を対象に、片脚着地動作、片脚切り返し動作、両脚着地動作における膝関節運動の比較を行った。これらの研究を通して、各動作の運動学的特徴を検討し、ACL 損傷リスクの高い動作を明らかにした。

また、現場で容易に行える二次元動作解析の有用性検討として、二次元動作解析によって算出される膝関節角度と、三次元動作解析によって算出される角度の回帰関係の検討を行った。女性28名のバスケットボール選手およびラクロス選手を対象に、両脚着地動作の計測を、三次元動作解析装置およびデジタルビデオカメラにて行った。三次元動作解析は Point Cluster 法を用い、膝外反角度および脛骨内旋角度を算出した。一方、デジタルビデオから得られた画像から、二次元膝外反角度を算出した。算出された三次元膝外反角度に対する二次元膝外反角度の回帰関係、および三次元脛骨内旋角度に対する二次元膝外反角度の回帰関係を線形回帰分析および非線形回帰分析を用いて検討した。

(2)受傷場面解析

受傷時のビデオ解析は種目を発生頻度の高い女子サッカー、および女子バスケットボールにしぼり、公式戦約200試合での2方向以上のビデオ撮影を行う。記録は市販のデジタルビデオを使用する。

2方向以上で受傷時鮮明な画像が得られている事例を選び3次元画像解析を行う。画像解析は骨格モデルのマッチング法を用いた3次元解析法(Krosshang et al: J. Biomechanics, 2005)を用いる。本法は従来の方法では画像解析が出来ないようなマーカーをつけてない選手に対して3次元モデルマッチングソフト“Poser4”を使用して上肢、下肢各関節が3軸の自由度を持つ骨格モデルを当てはめると共に、コートラインや柱を指標代わりにビデオのそれぞれのフレームでマッチングを行い膝関節の3次元の動きを算出する。

(3)予防トレーニングの開発普及

現在 ACL 損傷予防トレーニングとして知られている Caraffa プログラム、Henning プログラム、Cincinnati Sportsmetrics Training プログラムの各ポイントを網羅し、ジャンプトレーニングとバランストレーニングをミックスした約15分~30分のトレーニング法を開発する。このプログラムをさらに、バスケット、サッカー、スキーなどに適応させた第二段階のプログラムの開発を行う。本プログラムの普及には国立スポーツ科学センター、JOC、日本体育協会、サッカー協会、バスケットボール協会等各競技団体を通じての教育と普及が重要である。ドクター、トレーナーを対象とした講演会、研修会での指導をはかるほか、サッカー、バスケット等の医事部門の了解は得られている競技では、公式戦での傷害報告の義務付けと共に、現場帯同トレーナーに対する予防プログラム取得の徹底化をはかる。また指導の効率化のため、まず選手に対してスクリーニングとして連続ジャンプや着地動作を行わせ、特にriskの高いと思われる選手を中心にトレーナーを通じて正しい動作の指導の徹底をはかる。

4. 研究成果

(1)生体力学解析

片脚着地動作の性差および運動学的検討において、片脚着地時の接地肢位は膝軽度屈曲、内反、外旋、脛骨前方偏位をとる傾向がみられた。接地後から床反力垂直成分が最大値を取るまでの間、膝関節屈曲、脛骨内旋角度は増加する傾向が得られたが、膝外反・内反角度は一度内反した後に外反する傾向が得られた。脛骨前方偏位は一度増加した後減少し、接地時の状態に戻る傾向が得られた。

片脚着地時の膝屈曲，内反，外反，および脛骨前方偏位に有意な性差はみられなかったが，脛骨内旋変位量が男性に比較し女性で有意に大きかった．また，大腿直筋の接地前筋活動が，男性に比較し女性で有意に大きかった．脛骨内旋運動，ならびに大腿四頭筋活動は ACL の歪みを増加させる要因として報告されており，女性における大きな脛骨内旋，大腿四頭筋優位の筋活動は ACL 損傷リスクファクターとして考えられた．

次に ACL 損傷好発動作である着地や切り返し動作の中から，片脚着地-切り返し，片脚着地，両脚着地における膝関節運動を比較し，ACL 損傷リスクファクターの検討を行った．その結果，片脚動作は両脚着地に比較し，膝屈曲角度が小さく，脛骨内旋変位量が大きい特徴がみられた．特に切り返し方向と足部方向が異なる片脚着地-切り返しでは片脚着地に比較し，脛骨内旋変位量，外反変位量が大きく，こうした脛骨内旋，外反変化量の増大する動作が ACL 損傷リスクファクターと考えられるとともに，ACL 損傷メカニズムとしても同様の動作変化が関係していると考えられた．また，両脚着地は片脚動作に比較し，膝外反角度が大きく，片脚動作とは異なる要因から ACL 損傷のリスクを有すると示唆された（図 1）．

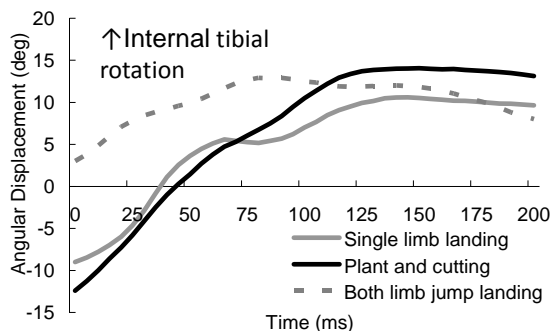


図 1 片脚着地(Single limb landing)，片脚着地-切り返し(Plant and cutting)，両脚着地(Both limb landing)中における脛骨内旋運動

また，簡便に着地肢位を計測，評価し，リスクファクターのスクリーニング，および介入効果判定が可能である解析手法の検討として，二次元画像を用いた膝動作解析法の検討を行った．膝外反角度の計測について，着地動作における二次元膝外反角度と三次元動作解析から求められる三次元膝外反角度との関連を，線形回帰分析および非線形回帰分析を用いて検討した．その結果，回帰分析

の結果，すべてのモデルにおいて二次元膝外反角度と三次元膝外反角度間に有意な回帰式決定係数が得られた(線形モデル: 決定係数 $r^2=0.34$, $p<0.01$, 二次式モデル: $r^2=0.40$, $p=0.01$, 対数モデル: $r^2=0.41$, $p<0.01$)．各モデル間に有意差はみられなかった．二次元膝外反角度と三次元膝外反角度の間に有意な回帰関係が得られたことにより，二次元膝動作解析法を ACL 損傷リスクのスクリーニングに用いることのできる可能性が示唆された．

(2)受傷場面解析

受傷場面の三次元解析には受傷シーンを多方向から同時撮影できた両画質のビデオが必要でその機会は少なかった．今回サッカー選手 1 例の受傷シーンにつき 3 次元 CG 作成ソフトである Poser 法を用いて骨格モデルを選手に合わせフレームごとの解析を行った．結果としては膝 50° 屈曲，12° 外反，内外旋は中間位で受傷したことが判明した．

(3)予防トレーニングの開発普及

はじめに女子バスケットボール選手に対してジャンプ，バランストレーニングを行い，その効果を片脚着地時の膝関節運動および筋活動から検証した．その結果，片脚着地時の膝関節運動にみられたトレーニング効果としては接地時，および床反力最大時における膝屈曲角度の増加がみられた．また，筋活動におけるハムストリングス接地前活動の増加がみられた．こうした膝屈曲角度が増加しハムストリングスの活動が増加することにより，より ACL へのストレスを軽減させ，ACL 損傷予防効果があると考えられた．

上記の基礎研究により ACL 損傷予防プログラムを行うことにより ACL 損傷の予防効果がみられると考えられたため，バスケット，サッカー，スキー，テニスにおいて，各競技特性を踏まえた上での予防プログラムを作成した．いずれのプログラムも先行研究をもとに，筋力，バランス，ジャンプ，スキルのトレーニング項目を含み，ウォーミングアップなどで実施可能な内容とした．

特にバスケットボールにおける予防プログラムの効果検証については，日本女子バスケットボール機構における外傷調査を行い，プログラム介入前後での予防効果の検討を行った．その結果，プログラム介入後，部位別では足部・足関節，膝関節，外傷別では足関節捻挫と ACL 損傷でそれぞれ発生率が低下する傾向にあった（図 2）．

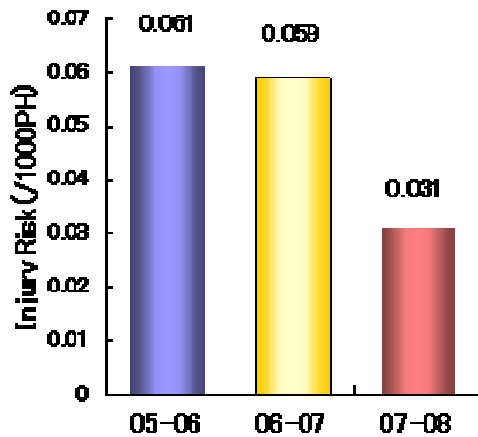


図2 シーズン別 ACL 損傷発生率 (07 - 08 シーズンより予防プログラム介入を開始.)

加えて、外傷予防プログラム実施による影響を調査するため、大学生女子バスケットボール選手を対象に、ジャンプ着地姿勢のビデオ撮影と身体能力テストを実施し、トレーニング前後の数値を比較検討した。ジャンプ着地時の膝関節外転角度において、リスク群のみトレーニング後に減少する傾向を示した(図3)。この結果は、リスク群の方においてトレーニング効果が高く着地動作におけるリスクに改善がみられたといえた。他の項目にリスク群のみ特異的にトレーニング効果がみられた項目がないことから、外傷予防プログラムは特異的にリスク群における着地時膝外転角度の改善、つまり、動作学習に有効に働くことが示唆された。また、膝外転角度の減少をプログラムの目的とした場合、あらかじめ膝外転角度計測によるスクリーニングを行い、膝外転角度の大きい選手を対象にプログラムを行うことが可能であることが示唆された。

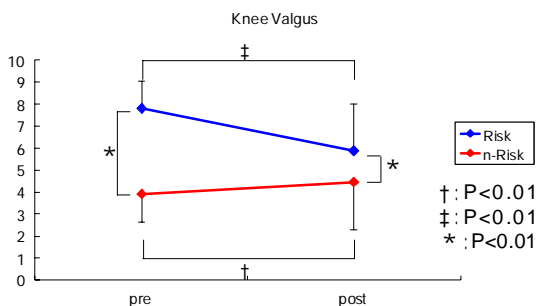


図3 ACL 損傷リスク群、非リスク群ごとの膝外反角度に対するトレーニング効果

これらの結果を受けて、各競技における予防プログラムの普及を積極的に行った。ドクター、トレーナーを対象とした学会、講演会、研修会での指導や、図書、雑誌などの媒体を用いての普及を行った。また、予防プログラ

ムの内容を各 1000 枚の DVD に編集し、DVD を配布することにより、より広く普及させている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計7件)

<査読あり>

1. Y Nagano, H. Ida, M Akai, and T Fukubayashi: Biomechanical characteristics of the knee joint in female athletes during tasks associated with Anterior Cruciate Ligament injury. *Knee, The British Association for Surgery of the Knee*, Vol.16, pp153-158, 2009.
2. P Renstrom, A Ljungqvist, E Arendt, B Beynon, T Fukubayashi, L Engebretsen et al: Non-contact ACL injuries in female athlete: an International Olympic Committee current concepts statement. *Br J Sports Med*, Vol. 42, pp394-412, 2008
3. Y Nagano, M Sakagami, H Ida, M Akai, and T Fukubayashi: Statistical Modeling of Knee Valgus during a Continuous Jump Test. *Sports Biomech, International Society of Biomechanics in Sports*, Vol.7, pp342-350, 2008.
4. 永野康治, 岩田恵梨子, 井田博史, 赤居正美, 福林徹: 繰り返し動作における体幹運動の性差について. *日本臨床バイオメカニクス学会誌*, 日本臨床バイオメカニクス学会, Vol.29, pp53-57, 2008.
5. 坂上真弓, 永野康治, 宮川俊平, 福林徹: 大学女子バスケットボール選手におけるACL損傷因子の解析. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 日本臨床スポーツ医学会, Vol.15, pp371-377, 2007.
6. Y Nagano, H Ida, M Akai, and T Fukubayashi: Gender differences in knee kinematics and muscle activity during single limb drop landing. *Knee, The British Association for Surgery of the Knee*, Vol.14, pp218-223, 2007.
7. 永野康治, 井田博史, 赤居正美, 坂上真弓, 福林徹: デジタルビデオカメラを用いた膝前十字靭帯損傷リスクのスクリーニング. *日本臨床バイオメカニクス学会誌*, 日本臨床バイオメカニクス学会, Vol.28, pp193-197, 2007.

[学会発表](計26件)

1. Y Nagano, M Fukano, K Itagaki, S Miyakawa, T Fukubayashi: Influence of Balance Ability and Lower Limb Alignment on Knee Motion During a

- Continuous Jump Test. Orthopaedic Research Society 55th Annual Meeting, Poster No. 1978, Las Vegas, February, 2009.
2. 福林徹: サッカーでの外傷予防プログラムーそのポイントと有用性, 今後の方向性. 第7回東京スポーツ整形外科研修会, 4月24日, 2009
 3. M Setojima, T Fukubayashi, Y Saho, K Takahashi, S Suzuki: Efficacy of the F-Marc 11 and the F-Marc 11+ α Training Program on collegiate Football Teams. 7th Biennial ISAKOS, Osaka, April 5-9, 2009
 4. 福林徹: トップアスリートのベストパフォーマンスの導き方・維持・障害の予防と治療 沖縄県スポーツ医学研究会, 那覇, 2008.12.16
 5. 福林徹: 何故, 今ACL損傷の予防が重要か?ーIOCの考え方を踏まえてー 第25回膝関節フォーラム, 東京 2008.12.6.
 6. 福林徹: ACL損傷予防 最近の動向 第7回久留米整形外科スポーツ医学研究会, 久留米, 2008.11.22
 7. 永野康治, 板垣香里, 深野真子, 李小由, 宮川俊平, 福林徹: 着地肢位に対する関節可動域, 下肢アライメント, バランス能力の影響. 第19回日本臨床スポーツ医学会学術集会, 千葉, 11月, 2008.
 8. Y Nagano, H Miki, K Tsuda, Y Shimizu, Y Nou, T Fukubayashi.: The Incidence of Injury For The Japanese Top Level Female Basketball League. 2nd World Congress on Sports Injury Prevention, Poster No. 145, Tromso, June, 2008.
 9. K Takahashi, Y Nagano, M Kitsunai, M Fukano, S Suzuki, M Setojima, T Fukubayashi: Efficacy of The F - Marc 11 Training Programme on Collegiate Football Teams. 2nd World Congress on Sports Injury Prevention, Poster No. 175, Tromso, June, 2008.
 10. S Niga, T Fukubayashi: Active conservative treatment for the prevention of groin pain. 2nd World Congress on Sports Injury Prevention, Tromso, Norway, June, 2008.
 11. T Fukubayashi: ACL injury prevention -injury mechanism and prevention training-. 5th ISOSM Keelung, May 5, 2008.
 12. T Fukubayashi: ACL injury prevention. 5th WCST&6th APOSSM, Hong Kong, April 11, 2008.
 13. T Fukubayashi: Prevention training of the Japanese women's basketball league and its provisional results. IOC Consensus Meeting, Lausanne, Feb.7-9, 2008.
 14. T Fukubayashi: Kissing knee in the Japanese collage female basketball players. IOC Consensus Meeting, Lausanne, Feb.7-9, 2008.
 15. Y Nagano, S Kaneko, E Iwata, H Ida, M Akai, and T Fukubayashi: Gender Differences in Knee And Trunk Motion During Shuttle Run Cutting. Orthopaedic Research Society 54th Annual Meeting, Poster No. 1258, San Francisco, March, 2008
 16. 永野康治, 金子聡, 岩田恵梨子, 井田博史, 赤居正美, 福林徹: カutting動作における膝・体幹運動の性差について. 第34回日本臨床バイオメカニクス学会, 東京, 12月, 2007.
 17. 高橋一隆, 岩田恵梨子, 永野康治, 福林徹: 男子サッカー選手における膝外反リスク抽出方法の検討. 第18回日本臨床スポーツ医学会学術集会, 大分, 11月, 2007.
 18. 岩田恵梨子, 高橋一隆, 永野康治, 福林徹: 女子サッカー選手の着地切り返し動作におけるACL損傷リスクファクターの検討. 第18回日本臨床スポーツ医学会学術集会, 大分, 11月, 2007.
 19. Y Nagano, H Ida, M Akai, and T Fukubayashi: Effects of Prevention Training for Anterior Cruciate Ligament Injury during Single Limb Drop Landing in Female Basketball Athletes. 15th Triennial Congress of Asia Pacific Orthopaedic Association. F047-1, Seoul Korea, September, 2007.
 20. Y Nagano, H Ida, M Akai, and T Fukubayashi: Differences In Knee Kinematics During Single And Both Limb Athletic Tasks. American College of Sports Medicine 54th Annual Meeting. Poster No. 1617, New Orleans, May, 2007.
 21. 福林徹: ACL損傷予防に向けてのバイオメカニクスの手法を用いた解析. 第2回大阪バイオメカニクス研究会. 大阪. 2007.3.24
 22. 福林徹: 膝前十字靭帯損傷の治療と予防. 第129回神奈川整形災害外科研究会 横浜, 2007.3.10
 23. T Fukubayashi, Y Nagano: Effects of Jump and Balance Training on Knee Kinematics -biomechanical analysis with point cluster technique- 6th biennial ISAKOS Congress, Florence, Italy, May 27-31, 2007.
 24. Y Nagano, M Sakagami, H Ida, M Akai, S Miyagawa and T Fukubayashi: The Continuous Jump Test Can Screen For Anterior Cruciate Ligament Injury.

Orthopaedic Research Society 53rd Annual Meeting. Poster No. 838, San Diego, February, 2007.

25. Y Nagano, M Sakagami, H Ida, M Akai, S Miyagawa and T Fukubayashi: 2007 Screening Task for Anterior Cruciate Ligament Injury. World Federation of Athletic Training and Therapy World Congress. Abstract page 46. Tokyo, January, 2007.

26. 永野康治, 井田博史, 中澤公孝, 福林徹: 片脚着地時の膝関節運動における6自由度膝運動解析. 第19回日本バイオメカニクス学会大会, 埼玉, 9月, 2006.

〔図書〕(計 5件)

1. 福林徹, 永野康治: スポーツ外傷・障害予防への取り組み-その重要性と世界の動向-. 理学療法, Vol.26, p251-254, 2009. メディカルプレス.
2. 永野康治: ACL損傷の予防プログラム-各種予防プログラム-. 福林徹, 蒲田和芳(監修) Sports Physical Therapy Seminar Series ACL損傷予防プログラムの科学的基礎. p137-147, 2008. ナップ.
3. 福林徹: スポーツ外傷・障害における予防の役割. 臨床スポーツ医学臨時増刊号, 25:2-5, 2008
4. 福林徹: 前十字靭帯損傷 ACL損傷予防の進歩 IOCでの会議から- 臨床スポーツ医学臨時増刊号, 25:99-104, 2008
5. 永野康治, 福林徹: トレーニングによる危険肢位の防止効果-Point Cluster 法での解析-. 臨床スポーツ医学, Vol.24, p499-503, 2007. 文光堂.

6. 研究組織

(1)研究代表者

福林 徹 (FUKUBAYASHI TORU)
早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授
研究者番号: 70114626

(2)研究分担者

鳥居 俊 (TORII SUGURU)
早稲田大学・スポーツ科学学術院・准教授
研究者番号: 70164069

柳沢 修 (YANAGISAWA OSAMU)
早稲田大学・スポーツ科学学術院・助手
研究者番号: 50371159

倉持 梨恵子 (KURAMOCHI RIEKO)
帝京平成大学・現代ライフ学部・講師
研究者番号: 00386658

井田 博史 (IDA HIROFUMI)
神奈川工科大学・ヒューマンメディア研究センター・研究員
研究者番号: 20392194

奥脇 透 (OKUWAKI TOHRU)
国立スポーツ科学センター・スポーツ医学研究部・副主任研究員
研究者番号: 20274871

(3)連携研究者

赤居 正美 (AKAI MASAMI)
国立障害者リハビリテーションセンター・病院・病院長
研究者番号: 80143452