

前十字靭帯再建術患者の競技復帰後再損傷を予測するための 着地動作と姿勢制御における生体力学的評価

Mark V. Paterno, Laura C. Schmitt, Kevin R. Ford, Mitchell J. Rauh, Gregory D. Myer, Bin Huang
and Timothy E. Hewett

Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate
ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport.

Am J Sports Med 2010 Oct;38(10):1968-78.

PMID: 20702858

翻訳担当者：国立大学法人東京医科歯科大学医学部附属病院 大路駿介

【抄録】

目的

前十字靭帯（以下：ACL）損傷後、再建術を受けた若年アスリートは、競技復帰後に再損傷するリスクが高い¹⁾。初回受傷における前向き研究による生体力学に関する報告はされているが、ACL再建術後競技復帰をしたアスリートにおける再受傷に関する生体力学的な報告はない。本研究の目的は、ACL再建術後競技復帰をした若年アスリートを前向きに調査し、再損傷の予測因子を示すことである。

方法

本研究は、ACL再建術後競技復帰を果たした若年アスリートにおける再損傷の（同側、または対側）予測因子を検出するための前向きコホート研究である。対象は過去にACL再建術を施行した後、リハビリテーションを完了し、受傷前レベルの競技復帰を果たした56名（女性35名、男性21名）とした。25名は膝蓋腱、27名はハムストリングス腱、4名は同種移植腱による再建術を施行した。包含基準は、年齢10～25歳、過去にACL損傷の既往のない者、1年以内に両側下肢または腰部に障害のない者、年間に50時間以上のジャンプ、ピボットリングそしてカッティングを伴う競技に参加している者とした。除外基準は、元のスポーツレベルに達していない、または参加していない者とした。

全ての被験者は三次元動作解析による高さ31cmのステップ台からの両脚着地後最大垂直ジャンプ課題であるdrop vertical jump、動的バランス測定器（バイオデックス社）による片脚立位での20秒間の動的バランス能力、Knee Arthrometer（Compu KT）による脛骨前方動揺性を計測した。

三次元動作解析では、同期した床反力を基に初期接地（垂直床反力が10Nを超えた時点）から重心が最も低い着地相までの、股・膝関節の角度を算出した。また、逆動力学により、着地相での最大股・膝のモーメントと、損傷が起りやすいとされている着地初期（着地相10%）での股・膝モーメントを算出した。

Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport.

動的バランス計測はバイオデックススタビリティシステムを使用した。このシステムは、多角面に傾くプラットフォーム上で片脚立位にて一定時間バランスを維持し、移動した角度を安定化指数として算出するものである。数値が大きい程、不安定を意味する。

復帰後の障害管理は、初回の計測から1年間、メールまたは電話にて個別に聴取した。ACL再損傷は、関節鏡、MRI、KT（3mm以上の差）によって診断された。

統計学的分析

ACL再損傷予測因子を決定するために多変量ロジスティック回帰分析を行った。

最終的な回帰モデルからオッズ比と95%信頼区間を求めた。また、回帰モデルの感度・特異度を示すROC曲線をプロットし、曲線下面積を求めた。

結果

1年間で13名（女性11名、男性2名、対側10肢、同側3肢）のACL再損傷が発生した。競技の内訳はサッカー10名、バレーボール1名、バスケットボール2名であった。再損傷の機転はピボット動作が10名、ジャンプからの着地が3名であった。ロジスティック回帰分析の結果、①着地時の非損傷側股内旋モーメント、②前額面上での膝外反角、③着地初期の矢状面上における膝モーメントの非対称性、④損傷側の片脚立位不安定性による回帰式が再発の予測因子であった（ROC曲線下面積0.94、感度0.92、特異度0.88）。

- ① : ACL再損群は着地初期では股内旋モーメント (-2.4×10^{-3} Nms/Kg) を示したのに対し、非再損群の非損傷下肢は股外旋モーメント (1.1×10^{-3} Nms/Kg) を示した ($p < .001$)。これは単変数解析において最も高い感度、特異度を示し (ROC曲線下面積0.81、感度0.77、特異度0.81)、オッズ比は8.4 (95%信頼区間2.1, 33.3) であった。
- ② : 非再損群は 12.1° であったのに対し、再損群は 16.2° であり ($p = .03$)、オッズ比は3.5 (95%信頼区間1.3, 9.9) であった。
- ③ : 初期接地における再損群の非損傷下肢の膝伸展モーメント (-2.8×10^{-2} Nm/Kg) は、再損群の損傷下肢 (9.5×10^{-2} Nm/Kg) と、非再損群の損傷下肢 (11.4×10^{-2} Nm/Kg) と非損傷下肢 (8.4×10^{-2} Nm/Kg) より有意に低値を示した ($p = .03$)。オッズ比は3.3 (95%信頼区間1.2, 8.8) であった。
- ④ : バイオデックススタビリティスコアでは、再損群は $4.07 \pm 2.06^\circ$ であったのに対し、非再損群は $3.63 \pm 1.58^\circ$ であった。オッズ比は2.3 (95%信頼区間1.1, 4.7) であった。

考察

本研究は生体力学的、神経筋コントロールがACL再建術後の再損傷予測因子となることを示した初めての研究である。これらはリハビリテーションにより改善可能な項目であり、介入の必要性を示唆した。(筆者らのグループは、プライオメトリックストレージングや着地の技術などの神経筋コントロールに着目した介入により、膝外反アライメントが改善することを他の研究で述べており、外反アライメントを呈することを神経筋コントロール不良と位置付けている。)

Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport.

前額面上での外反アライメントは、股内転・内旋、膝屈曲・外転、脛骨の回旋によるもので、解剖学的に ACL のストレインを増大させるとされている²⁾。過去の報告によれば、Drop vertical jump 時の股伸展筋力と股内旋運動は関連があり、股伸展筋力と外旋筋力への介入により外反アライメントを減少させることができる³⁾。

矢状面上での神経筋コントロールの左右差は過去に ACL 損傷のリスクファクターとされており、他の研究では ACL 再建術後は垂直床反力に左右差が生じることが報告されている⁴⁾。つまり、矢状面上における着地初期の膝モーメントの左右差は、衝撃吸収にアンバランスな戦略が生じていることを示している。

バランスまたは姿勢制御とは、支持基底面上で重心をコントロールする能力をさし、スポーツ競技動作での支持基底面からの重心の逸脱は ACL 損傷リスクファクターである膝外反を増大させると言われている⁵⁾。ACL 再建術後はバランス能力を改善させることが再損傷を減らすことができるかもしれない。

本研究の限界

本研究は、56 人の比較的若年アスリートという小さなサンプルを前向きに検討しているため、他の集団に対する結果の外的妥当性を制限しうる。しかし、事前の検出力分析において 7.7 人の ACL 再損傷が統計学的に必要であり、今回は 13 人の ACL 再損傷を対象としているため、今回の集団においては信頼するデータである。

他の限界としてグラフトタイプが挙げられる。特に同種移植腱使用患者が膝蓋腱、ハムストリングス腱に対し少ない。グラフトタイプによる ACL 再損傷の予測を目的としているわけではなく、今回の研究においてもそれが影響することはなかったが、過去の報告では同種移植腱は同側 ACL 再損傷予測因子と報告されている⁶⁾。

また、本研究では筋力や筋電図による評価の記載はないため、外反アライメントが神経筋コントロールによるものかは不明である。

最後に、本研究は ACL 再建者のみの比較であるため、健常者を含めた検討が必要である。

要約と結論

ACL 再建術後にスポーツ復帰をする者の再損傷率は高い。しかし、再損傷リスクを高めるメカニズムに対する前向きコホート研究は行われていなかった。今回我々は、ACL 再建術後の競技復帰時に drop vertical jump と動的バランス能力を計測し、①着地時の非損傷側股内旋モーメント、②前額面上での膝外反角、③着地初期の矢状面上における膝モーメントの非対称性、④損傷側の片脚立位不安定性が再発の予測因子であることを示した。

これらの予測因子は効果的な介入への第一歩であり、ACL 再建術後のアスリートのリハビリテーションにおいて、より適切な競技復帰許可基準となる。

Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport.

解説

本研究は、ACL 再建術後にスポーツ復帰を果たした若年アスリートにおける、復帰後再損傷（同側または対側）の危険因子を特定するための前向きコホート研究である。

ACL 再建術後に対する競技復帰基準においては、決定的な基準がなく施設間に差異があるのが現状であるため、本研究の結果は ACL 再建術後のリハビリテーションを行う理学療法士において非常に重要といえる。

今回示された予測因子は前額面上に限らず、矢状面、水平面と多角的に評価をする重要性を示唆するものであり、drop vertical jump 課題では動作を 3 次的に評価できるスキルが我々理学療法士に求められる。

しかし、本研究では非常に高価で計測に時間を要する機器を使用しており、通常の診療業務を行う理学療法士に対して現実的な評価とは限らないことも事実である。

また、今回再損傷をきたした 13 名のうち、ピボット動作での再損傷が 10 名で（着地動作が 3 名）、今回の検討項目には含まれていない動作であることは特筆すべき点であり、今回検討された drop vertical jump や片脚での動的バランスだけでなく、患者個々のスポーツに合わせた特異的な動作を評価する必要があることはいままでのないだろう。

参考文献

- 1) Shelbourne KD, Gray T, Haro M. Incidence of subsequent injury to either knee within 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft. *Am J Sports Med.* 2009;37(2): 246-251
- 2) Fung DT, Zhang LQ. Modeling of ACL impingement against the intercondylar notch. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2003 Dec;18(10):933-41
- 3) Souza RB, Powers CM. Predictors of hip internal rotation during running: an evaluation of hip strength and femoral structure in women with and without patellofemoral pain. *Am J Sports Med.* 2009 Mar;37(3):579-87
- 4) Paterno MV, Ford KR, Myer GD, Heyl R, Hewett TE. Limb asymmetries in landing and jumping 2 years following anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin J Sport Med.* 2007 Jul;17(4):258-62.
- 5) 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.* 2009 Jun;43(6):417-22
- 6) Borchers JR, Pedroza A, Kaeding C. Activity level and graft type as risk factors for anterior cruciate ligament graft failure: a case-control study. *Am J Sports Med.* 2009 Dec;37(12):2362-7