

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：12602

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K19409

研究課題名（和文）膝ACL再建術後選手の競技復帰基準となる新たな跳躍能力指標の標準化に向けた研究

研究課題名（英文）A research for standardization of a new jumping ability index as a criterion for return to competition in athletes following ACL reconstruction surgery.

研究代表者

廣幡 健二（Hirohata, Kenji）

東京医科歯科大学・東京医科歯科大学病院・理学療法士

研究者番号：90747700

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では第一に、ACL再建術後選手の片脚垂直連続ジャンプ中RSIと等速性膝伸展筋力の関連を調査することを目的とした。そして、片脚垂直連続ジャンプ中RSIの高低と運動中の膝ストレスの関連をみることで、ACL再建術後選手の片脚垂直連続ジャンプ中RSIと等速性膝伸展筋力には強い関連を認め、ACL再建術後選手の片脚垂直連続ジャンプ中RSIと等速性膝伸展筋力には強い関連を認めた。また、三次元動作解析を使用した検討では、片脚垂直連続ジャンプ中RSIの高低が運動中の膝外反ストレスと関連しているか否かについてはまだ結論づけることができず、この点については引き続きの検討が必要である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ACL再建術後選手の片脚垂直連続ジャンプ中RSIに着目し、その非対称性と等速性膝伸展筋力の関連を明らかにした報告はないのが現状であり、本研究結果は新たな知見といえる。スポーツ現場での実行可能性が高い片脚垂直連続ジャンプで等速性膝伸展筋力の回復状況を推定することができれば、今後のACL再建術後選手の診療に役立つ。また運動中の膝外反ストレスとの関連も明らかにすることができれば、再損傷スクリーニング評価の一つになり得る。

研究成果の概要（英文）：This study investigated the relationship between RSI during single-leg vertical continuous jumps and isokinetic knee extensor strength in post-ACL reconstruction athletes. The study also aimed to provide new insights into the relationship between RSI during vertical continuous jumps and knee stress during exercise to standardize the evaluation of jumping ability to reduce the risk of ACL reconstructive ligament injury. The results showed a strong association between RSI during single-leg vertical continuous jumps and isokinetic knee extensor strength in post-ACL reconstruction athletes. However, we could not yet conclude whether high or low RSI during a one-leg vertical continuous jump can be related to knee eversion stress during exercise, and this point requires further investigation.

研究分野：スポーツ医学

キーワード：膝前十字靭帯損傷 スポーツ 復帰基準 片脚跳躍 Reactive Strength Index

1. 研究開始当初の背景

膝前十字靭帯 (Anterior cruciate ligament; ACL) 損傷は、代表的なスポーツ外傷である。非接触型の ACL 損傷は着地と踏み切りを伴うジャンプや切り返しの多いスポーツでの受傷が多い。主な治療法は靭帯再建術であり、スポーツ復帰までに長期間 (少なくとも 6 ヶ月以上) を要する。このスポーツ外傷の最大の特徴は、スポーツ復帰後の再損傷率の高さである。再損傷する選手を減らすため、ACL 再建術後のスポーツ復帰可否は、術後経過日数に加えて、複数の身体機能評価から総合的に判断することがガイドラインで推奨されている。しかしながら、ACL 再建術後選手のスポーツ復帰可否を判断する評価項目について、まだ一定のコンセンサスは得られておらず、適切な復帰判断基準を設定することがスポーツ医学界の大きな課題の一つである。膝筋力機能について、膝伸展筋力の回復状況は重要な要因の一つである^{1,3}。これらの情報から、スポーツ復帰判断基準の中でも等速性膝伸展筋力計測は推奨度の高い評価の一つである。しかしながら、等速性膝伸展筋力計測は、高額な機器を要するなどの理由から現場での実施率が 20%未満であることが報告されている⁴。環境的な制約により、等速性膝伸展筋力の評価が難しい場合には、代替手段が必要となる。

これまで、我々は ACL 再建術後選手のスポーツ復帰判断基準の新指標として、片脚垂直ジャンプ中 Reactive Strength Index (RSI) に着目し、調査を進めてきた。RSI は着地と踏切を伴う課題中の接地時間と跳躍高 (あるいは滞空時間) から算出する変数である。RSI が高い場合、「短い接地時間で高く跳べている」ということを示す。ACL 再建術後選手と膝外傷経験の無い選手を対象とした調査で、片脚垂直連続ジャンプ中 RSI が水平方向の片脚ホップ距離テストよりも非術測に対する術測の機能低下を抽出できることを明らかにした⁵。ACL 再損傷リスクをスクリーニングするという視点で選手を評価する際には、跳躍高や RSI など数値の確認だけでなく、その数値の高低が術測膝機能や運動中の関節運動とどの程度関連するのか十分に確認する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では第一に、ACL 再建術後選手の片脚垂直連続ジャンプ中 RSI と等速性膝伸展筋力の関連を調査することを目的とした。そして、片脚垂直連続ジャンプ中 RSI の高低と運動中の膝ストレスの関連をみることで、ACL 再建靭帯損傷リスク低減を目的とした跳躍能力評価の標準化に向けた新たな示唆を得ることを目的とした。

3. 研究の方法

■ACL 再建術後選手の片脚垂直連続ジャンプ中 RSI と等速性膝伸展筋力の関連に関する調査

(1) 対象

対象は、着地や切り返しを頻繁に要するスポーツに参加する 16 歳以上 45 歳未満の ACL 再建術後選手とした。術後 5 か月以上経過し、受傷前競技への復帰に意欲があることを包含基準とした。手術はすべて、研究代表者が所属する施設の整形外科医が実施した。術式は半腱様筋腱を使用した解剖学的二重束再建術とし、半腱様筋腱だけでは不十分と判断された場合には薄筋腱を移植腱として追加した。

(2) 診療記録およびアンケート

診療記録および計測日のアンケートから、年齢、性別、身長、体重、スポーツ活動レベル、参加競技種目に関する情報を収集した。また、主観的な膝関節機能評価に International Knee Documentation Committee subjective knee evaluation form (IKDC-SKF)を使用した。

(3) 片脚垂直連続ジャンプ中 RSI

片脚垂直連続ジャンプ中 RSI を算出するため、フォースプレート (260AA6; Kistler Instrument AG, Winterthur, Switzerland) を使用し運動中の接地時間と滞空時間を計測した。運動課題は、片脚で垂直方向に 15 回連続で跳躍するものとした。計測にあたり対象には、できるだけ短い接地時間でできるだけ高く跳ぶように口頭で指示した。計測は両側下肢ともに実施し、同じ運動を 2 試行計測した。接地時間と滞空時間は、15 回連続跳躍のうち中央 5 回分を抽出し、その平均値を算出した。得られた滞空時間から、滞空時間法を用いて跳躍高を算出した。得られた跳躍高を接地時間で除して RSI を計算した。

(4) 等速性膝伸展筋力

等速性膝伸展筋力は、Biodex Multi-Joint Testing and Rehabilitation System (BDX-4; Biodex Medical Systems, New York, USA) を使用して計測した。計測の際の角速度は 60 %s とした。

(5) 下肢対称性指数の算出

各計測項目について、術測データを非術測データで除して百分率として LSI を算出した。

(6) 分析

すべての分析には統計解析ソフト SPSS (version 23.0 for Windows; IBM Corp, New York, USA) を

使用した。はじめに、等速性膝伸展筋力 LSI を従属変数、年齢、性別、競技レベル、術後経過日数、IKDC-SKF、そして片脚垂直連続ジャンプ中 RSI の LSI を独立変数とした単回帰分析を実施した。単回帰分析の結果として $P < 0.2$ であった変数を、重回帰分析に使用した。重回帰分析ではステップワイズ法を使用した。

■片脚垂直連続ジャンプ中 RSI と運動中膝関節ストレスとの関連

(1) 対象

対象は、着地や切り返しを頻繁に要するスポーツに参加する 16 歳以上 45 歳未満の ACL 再建術後選手および健常選手とした。

(2) 片脚垂直連続ジャンプ中の RSI と膝関節運動の計測

三次元動作解析装置を使用して、片脚垂直連続ジャンプ中の RSI と接地相における膝内外反モーメントを確認した。

4. 研究成果

■ACL 再建術後選手の片脚垂直連続ジャンプ中 RSI と等速性膝伸展筋力の関連に関する調査

ACL 再建術後選手 75 名の計測を完了した。対象の基本属性は表 1 に示す。単回帰分析の結果、年齢、術後経過期間、IKDC-SKF スコア、そして片脚垂直連続ジャンプ中 RSI が重回帰分析のための変数として抽出された。これらを独立変数とした重回帰分析の結果を表 2 に示す。分析の結果、片脚垂直連続ジャンプ中 RSI の LSI のみが有意な変数として抽出された ($B=0.440$, $SE=0.068$, $\beta=0.604$)

表 1：対象属性

ACL athletes n=75	
Age at measurement, year ^a	23.7 ± 8.6 (16-43)
Sex, n (%)	
Male	35 (46.7)
Female	40 (53.3)
Height, cm ^a	166.1 ± 8.1 (150.1-182.3)
Weight, kg ^a	62.8 ± 11.0 (43.0-97.5)
Modified Tegner activity score, point ^a	7.5 ± 1.1 (6-10)
Time from surgery to measurement, month ^a	8.8 ± 4.1 (5-24)

ACL, Anterior Cruciate Ligament Reconstruction

^aReported as mean ± standard deviation (range)

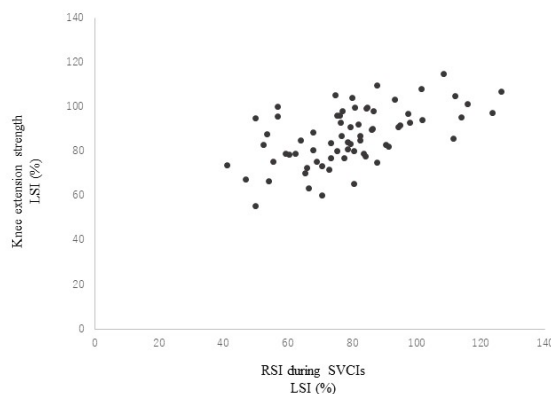


図 1：片脚垂直連続ジャンプ中 RSI と等速性膝伸展筋力の関連

表 2：重回帰分析の結果

Independent variable	B	SE	β	P-value
Model 1				
Age	-0.280	0.180	-0.179	0.125
Sex	-0.277	3.138	-0.010	0.930
Modified Tegner activity scale	0.747	1.376	0.063	0.589
Time from surgery to measurement	0.024	0.013	0.215	0.063
IKDC-SKF score	0.265	0.149	0.204	0.080
LSI of RSI during SVCJs	0.440	0.068	0.604	<0.001
Model 2				
LSI of RSI during SVCJs	0.440	0.068	0.604	<0.001

β , standardized coefficients; ACLR, anterior cruciate ligament reconstruction; B, unstandardized coefficients; IKDC-SKF, International Knee Documentation Committee subjective knee form; LSI, limb symmetry index; RSI, reactive strength index; SE, standard error; SVCJs, single-limb vertical continuous jumps

■片脚垂直連続ジャンプ中 RSI と運動中膝内外反モーメントとの関連

ACL 再建術後選手と健常選手における片脚垂直連続ジャンプ中の RSI と接地相の膝内外反モーメントについて、その傾向を確認した。ACL 再建術後選手と健常選手のデータを分析すると、健常選手と比較して ACL 再建術後選手では膝内外反モーメントの発生パターンに左右差が大きい傾向にあった。当初は、「片脚垂直連続ジャンプ中 RSI が低下しているものほど、外的な膝外反モーメントは高まるのではないか」という仮説を立てた。しかしながら、現時点では ACL 再建術後選手における片脚垂直連続ジャンプ中の RSI と運動中膝外反モーメントの間に線形の関係性は認めていない。計測できた ACL 再建術後選手の中で特徴例を図 2 に示す。この症例における片脚垂直連続ジャンプ中 RSI は、術側で 33.4 cm/sec であったのに対して、非術側で 27.8 cm/sec であった。このように、術側における片脚垂直連続ジャンプ中 RSI が非術側と同等あるいはそれ以上の数値であるが、術側における運動中の膝外反モーメントが相対的に高いケースが散見された。

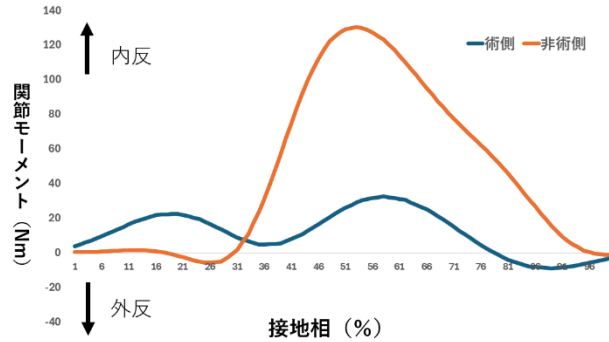


図 2：ACL 再建術後選手に片脚垂直連続ジャンプ接地相における膝内外反モーメント (1 症例)

■研究成果のまとめ

本研究にて得られた成果より、ACL 再建術後選手の片脚垂直連続ジャンプ中 RSI の非対称性は、年齢や術後経過期間に関わらず、等速性膝伸展筋力の非対称性と強く関連することが確認できた。ACL 再建術後選手のスポーツ復帰時期を判断する上で、等速性膝伸展筋力計測は最も推奨度の高い評価である。しかしながら、高額な機器を要するなどの理由から実際の診療での実施率は低いのが現状である。それに対して、本研究ではフォースプレートなどの機器を使用して計測を実施したが、片脚垂直連続ジャンプ中 RSI はスマートフォンのアプリケーションやセンサーマットなど、比較的安価な機器でも計測することができる変数である^{6,7}。これらの機器を用いれば、一般的な医療施設やスポーツ現場での計測も可能である。以上のことから、片脚垂直連続ジャンプ中 RSI 計測が等速性膝伸展筋力評価の代替手段になり得ることが示唆された。

また、片脚垂直連続ジャンプ中の RSI と膝関節運動についても ACL 再建術後選手の特徴に関する示唆を得た。術側の片脚垂直連続ジャンプ中 RSI が非術側と同等あるいはそれ以上の数値であっても、運動中のバイオメカニクスが異なり、特に再受傷と関連する膝外反モーメントは高値を示しているケースが散見された。ACL 再建術後選手を対象に、代表的な水平方向の跳躍テストであるシングルホップやトリプルホップを調査した報告⁸によれば、術側・非術側間の跳躍距離に差が無くとも、バイオメカニクスの機能低下が残存していた。我々が計測した対象においても同様の傾向を示した可能性がある。この点については今後も精査し、ACL 再建術後選手において、片脚垂直連続ジャンプ中 RSI 評価が再受傷リスクのスクリーニングテストとなり得るか、調査を継続する。

【引用文献】

1. Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA. Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med* 2016;50(13):804-8. (In eng). DOI: 10.1136/bjsports-2016-096031.
2. Barber-Westin SD, Noyes FR. Factors used to determine return to unrestricted sports activities after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 2011;27(12):1697-705. (In eng). DOI: 10.1016/j.arthro.2011.09.009.
3. Kyritsis P, Bahr R, Landreau P, Miladi R, Witvrouw E. Likelihood of ACL graft rupture: not meeting six clinical discharge criteria before return to sport is associated with a four times greater risk of rupture. *Br J Sports Med* 2016;50(15):946-51. (In eng). DOI: 10.1136/bjsports-2015-095908.
4. Greenberg EM, Greenberg ET, Albaugh J, Storey E, Ganley TJ. Rehabilitation Practice Patterns Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Survey of Physical Therapists. *J Orthop Sports Phys Ther* 2018;48(10):801-811. (In eng). DOI: 10.2519/jospt.2018.8264.
5. Hirohata K, Aizawa J, Ohmi T, et al. Reactive strength index during single-limb vertical continuous jumps after anterior cruciate ligament reconstruction: cross-sectional study. *BMC Sports Sci Med Rehabil* 2022;14(1):150. (In eng). DOI: 10.1186/s13102-022-00542-x.
6. Rantalainen T, Hesketh KD, Rodda C, Duckham RL. Validity of hip-worn inertial measurement unit compared to jump mat for jump height measurement in adolescents. *Scand J Med Sci Sports* 2018;28(10):2183-2188. (In eng). DOI: 10.1111/sms.13243.
7. Haynes T, Bishop C, Antrobus M, Brazier J. The validity and reliability of the My Jump 2 app for measuring the reactive strength index and drop jump performance. *J Sports Med Phys Fitness* 2019;59(2):253-258. (In eng). DOI: 10.23736/S0022-4707.18.08195-1.
8. Kotsifaki A, Korakakis V, Whiteley R, Van Rossom S, Jonkers I. Measuring only hop distance during single leg hop testing is insufficient to detect deficits in knee function after ACL reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 2019 (In eng). DOI: 10.1136/bjsports-2018-099918.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6 . 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	相澤 純也 (Aizawa Junya)		
研究協力者	大見 武弘 (Ohmi Takehiro)		
研究協力者	大路 駿介 (Ohji Shunsuke)		
研究協力者	見供 翔 (Mitomo Sho)		
研究協力者	川崎 智子 (Kawasaki Tomoko)		
研究協力者	古賀 英之 (Koga Hideyuki)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	柳下 和慶 (Yagishita Kazuyoshi)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関