

前十字靭帯再建術後の再損傷予防に関連する運動学的因子の検討

2021 年

吉備国際大学大学院  
保健科学研究科  
保健科学専攻  
博士（後期）過程

学籍番号 D311903 福田 航

## 目次

省略文字リスト.....	1
序章 序論	
第1節. 研究背景.....	2
第2節. 研究目的.....	3
第3節. 論文構成.....	3
第4節. 対象者における診療の流れ.....	3
第5節. 各章における対象者の測定時期.....	4
第6節. 研究倫理.....	4
第1章. 前十字靭帯再建術後患者の片脚ホップ着地時の運動学的特性.....	5
第1節. はじめに.....	6
第2節. 対象.....	6
第3節. 方法.....	8
第1項. 片脚ホップテスト.....	8
第2項. 膝関節可動域および可動域の変動係数の算出.....	8
第4節. 統計学的分析.....	12
第5節. 結果.....	12
第1項. ACL再建術後患者と健常者における運動学的因子の比較.....	12
第2項. ACL再建術後患者における運動学的因子の性差.....	13
第6節. 考察.....	14
第2章. 前十字靭帯損傷者における片脚スクワット中の運動学的特性.....	16
第1節. はじめに.....	17
第2節. 対象.....	17
第3節. 方法.....	18
第4節. 統計学的分析.....	19
第5節. 結果.....	20
第6節. 考察.....	21

第3章. 前十字靭帯再建術後の再損傷者と非損傷者における術前の片脚スクワット中の運動学的因子の比較.....	22
第1節. はじめに.....	23
第2節. 対象.....	23
第3節. 方法.....	25
第4節. 統計学的分析.....	25
第5節. 結果.....	25
第6節. 考察.....	26
第4章. 総合考察.....	28
第1節. 4つの研究で明らかになった知見.....	29
第2節. 本研究で得られた知見の臨床現場での活用.....	29
第5章. 終章.....	30
第1節. 結論.....	31
第2節. 限界.....	31
謝辞.....	32
学位論文の基礎となる原著.....	33
文献.....	34
付録.....	39

## 省略文字リスト

ACL : anterior cruciate ligament, 前十字靭帯

BMI : body mass index, 体格指数

ICC : intraclass correlation coefficients, 級内相関係数

LM : lateral meniscus, 外側半月板

LSI : limb symmetry index, 四肢対称性指標

MM : medial meniscus, 内側半月板

MRI : Magnetic Resonance Imaging, 磁気共鳴画像

ROM : range of motion, 可動域

## 序章 序論

### 第1節. 研究背景

前十字靭帯 (Anterior cruciate ligament ; ACL) は膝関節の中で大腿骨外顆側面後方から脛骨顆間結節の前内側に付着する靭帯であり、大腿骨に対する脛骨の前方ならびに内旋変位の制動を担う組織である。ACL 損傷はスポーツ中に発生することが多く、非接触性に損傷する割合が70%程度であることや女性に多いことが報告されている<sup>1,2)</sup>。我が国における中学、高校生1000人にあたり1年間の発生率は0.81人であり<sup>2)</sup>、米国では1000人にあたり1年間の発生率は0.69人とされている<sup>3)</sup>。また、米国のバスケットボール選手の傷害発生率は1000 athlete exposures (1人の選手が一度のトレーニング、または試合に参加することを1 athlete exposures とする)あたり5.93人あるいは10.35人(それぞれ、練習中、競技中)である。そのうち足関節捻挫は14.3%、脳震盪7.5%、ACL損傷は2.5%であり、ACL損傷は3番目に高かった<sup>4)</sup>。さらに、イタリアにおける2001年から2015年の調査では、2001年以降において10～14歳の患者のACL再建術は増加していることも報告されている<sup>5)</sup>。

ACL損傷後の治療方法にはKyuro装具を用いた保存療法がある<sup>6)</sup>。他には、ACLを再建する手術療法があり、ACL再建術後は保存療法後に比べてTegner活動レベル(詳しくは付録参照)が有意に改善することが知られている<sup>7)</sup>。ACL再建術は2000年代初めに前内側線維束と後外側線維束の解剖学的再構成の概念が提案され<sup>8)</sup>、再建する際の骨孔位置に関してはレジデントリッジを参考に行われるようになり<sup>9)</sup>、手術成績も向上している。ACL再建術後のリハビリテーションにおいても、膝関節屈曲-伸展可動域中のACLのひずみの報告<sup>10)</sup>や開放性運動連鎖および閉鎖性運動連鎖における前十字靭帯のShear forceの報告<sup>11,12)</sup>が参考にされ、スポーツ復帰に向けたトレーニングは再建されたACLの保護に留意し安全に行えるようになった。

一方で、ACL再建術後における喫緊の課題は再損傷予防である。近年でも20%程度の再損傷率が報告されており<sup>13-15)</sup>、再損傷の危険因子は若年であること<sup>16)</sup>、5度の膝関節屈曲可動域制限があること<sup>15)</sup>、大腿四頭筋筋力の対称性の低下<sup>17)</sup>、着地時の膝関節外反角度の増加<sup>18)</sup>などが報告されている。特に、着地時の膝関節外反角度は初発ACL損傷の受傷機転であり<sup>19)</sup>、スクワットや着地動作を用いたACL損傷予防スクリーニングテストでは膝関節外反の程度が評価されている。しかし、ACL再建術後の着地時における膝関節動態の報告では、膝関節の最大外反角度や最大内旋角度は健常人と比べて差がないとするものが多い<sup>20-23)</sup>。これらの知見から、着地時の膝関節外反に対して新たな視点で評価することが望ましいと示唆される。

ヒトにおける運動の変動は課題を複数回繰り返したときに生じる運動パフォーマンスの変化である<sup>24)</sup>。運動の変動は「運動スキルの習得時にどのようにコントロールされるのか」、「障害と関連しているのか」という観点から研究が進んでいる。筋骨格系障害を有する者においては、試行間における運動の変動に特徴があることが報告されている<sup>25-27)</sup>。さらに、Summersら<sup>28)</sup>は運動パターンの変動を誤差あるいはエラーの結果の可能性があると述べている。このことから、着地時の膝関節外反の変動が大きくなると、着地時の膝関節運動の制御が繁雑になり、ACL損傷に

関連する可能性がある。

運動の変動を表す指標には、リアプノフ指数、協調性の変動、変動係数などが用いられる。リアプノウ指数は力学系アトラクターが示す軌道不安定性を定量化でき、周期的な動きである歩行において評価されることが多い<sup>29)</sup>。また、協調性の変動は膝関節と股関節などの2つの関節間において、協調性の程度の変動を表すものである<sup>30)</sup>。一方で、変動係数は標準偏差を平均値で正規化したものであり、運動学・運動力学的測定値などに直接適用することができる変動の指標である<sup>31)</sup>。これらのことから、ACL再建術後患者やACL損傷者において着地時の膝関節外反角度などの単関節の量的な因子の変動を評価するうえでは変動係数が適している。したがって、本博士論文では変動係数を用いて検討した。

## 第2節. 研究目的

本研究の目的は、ACL再建術後患者あるいはACL損傷者において、着地などの動作中の膝関節運動の変動を明らかにすることである。また、ACL損傷者における膝関節運動の変動とACL再建術後再損傷との関連を調査することでACL再損傷予防を検討するうえでの情報を得ることが目的である。この情報はACL再損傷予防プログラムの成果向上に寄与する可能性がある。

## 第3節. 論文構成

第1章ではACL再建術後患者における片脚ホップ着地時の膝関節運動の変動を検討し、第2章ではACL損傷者においても膝関節運動の変動が大きいかどうかについて、片脚スクワットの下降時で検討した。第3章ではACL再建術後に再損傷する者としいない者で、ACL再建術の前日に測定した片脚スクワット下降時における変動に違いがあるかどうかを検討した。第4章では総合考察、第5章では結論および研究の限界について記載した。

## 第4節. 対象者における診療の流れ

本博士論文の対象者は香川県回生病院でACL損傷と診療された30歳未満の患者である。ACL損傷の診断は、整形外科医が磁気共鳴画像(Magnetic Resonance Imaging ; MRI)の結果と徒手検査などによる診察に基づいて行われた。すべてのACL損傷者にはACL再建術による治療が勧められ、ACL再建術を施行するための適応条件は、日常生活動作が自立し、膝関節可動域(range of motion ; ROM)が完全回復していることであった。

解剖学的2重束ACL再建術は2人の整形外科医によって行われ、再建材料には半腱様筋腱と薄筋腱が用いられた。ACL再建術後のリハビリテーションは、再建術後3週から独歩、再建術後3か月からジョグ、再建術後5か月から両脚ジャンプおよびステップ、再建術後6か月以降からスポーツ動作や片脚ジャンプの練習を開始し、再建術後9か月でのスポーツ復帰を目標に行った。スポーツ復帰の基準は、a)受傷肢の大腿四頭筋の筋力が非受傷肢と比較して80%以上であること、b)膝関節の可動域が正常であること、c)スポーツ時に膝関節の痛みがないこと、d)

医師の診察において膝関節機能に問題がないと判断された者とした。なお、ACL 再建術後患者は術後 30 か月まで診療を継続した。

## 第 5 節. 各章における対象者の測定時期

第 1 章は 2014 年 6 月から 2019 年 6 月の期間において、スポーツ復帰している ACL 再建術後約 15 か月時の患者を対象とし、第 2 章では 2014 年 6 月から 2018 年 8 月の期間において、ACL 再建術が施行される前日の ACL 損傷者を対象とした。なお、ACL 損傷者は第 4 節で述べた ACL 再建術を施行するための適応条件を満たした者である。第 3 章は 2014 年 6 月から 2019 年 6 月の期間において、ACL 再建術が施行される前日の ACL 損傷者を対象とし、術後 30 か月まで経過観察が行えた者を選択した (図 1)。それぞれ選択基準および除外基準が異なるため、対象者の属性については各章ごとに記載する。

## 第 6 節. 研究倫理

本研究を行うにあたり、回生病院倫理委員会の承認 (承認番号: 2014-6) と吉備国際大学倫理審査委員会の承認 (承認番号: 19-25) を受けて実施した。本研究はヘルシンキ宣言に沿って行い、データの集積に関しては患者の個人情報を匿名化し、個人情報の漏洩には最新の注意を払い遂行した。また、本研究は UMIN-CTR を使用した臨床試験として登録した (UMIN000037676; 膝前十字靭帯再建術前後における活動中の運動学・運動力学的解析)。

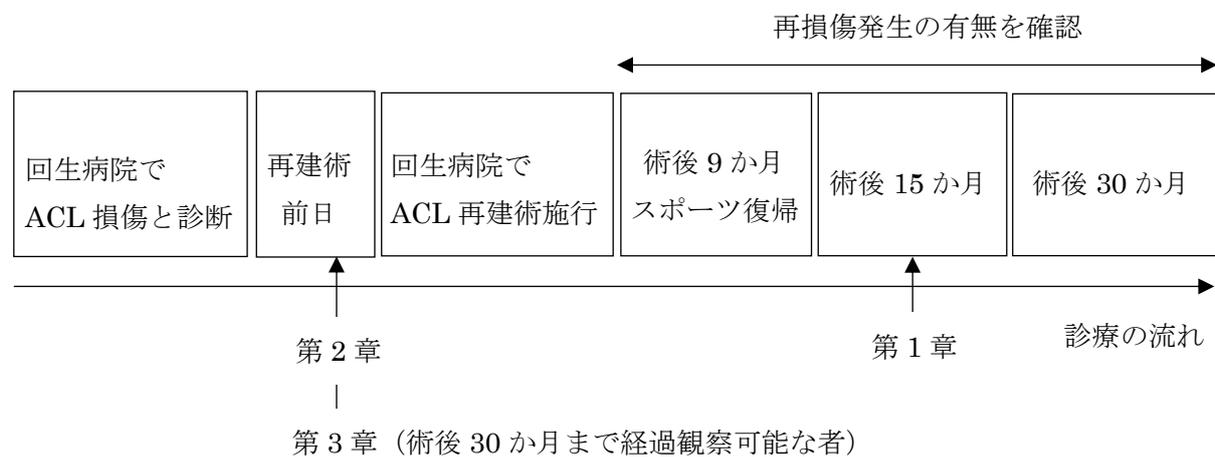


図 1 各章における対象者の測定時期について

第 1 章は ACL 再建術後約 15 か月時に測定された結果を検証した横断研究である。第 2 章は ACL 再建術が行われる前日に測定した結果を検証した横断研究である。第 3 章は原ら<sup>32)</sup>の報告を参考に、ACL 再建術の前日に対象者から収集する運動学的因子と ACL 再建術後 30 か月を上限期日とした再損傷発生の有無との関連性を検証する横断研究である。

## 第 1 章

### 前十字靭帯再建術後患者の片脚ホップ着地時の運動学的特性

## 第1節. はじめに

ACL 再建術後の機能的なパフォーマンステストとして片脚での前方ホップテストがある。片脚ホップテストの評価指標として踏み込み時や着地時の膝関節の関節角度およびジャンプ距離などがあり<sup>33)</sup>、健側との比率である四肢対称性指数 (Limb Symmetry Index : LSI) を用いて評価することが多い<sup>34,35)</sup>。しかし、対称性は健側を基準とした回復量を示すものであり、ACL 再建術後の再損傷は健側下肢にも 10%程度生じる<sup>14,15)</sup>。このことから ACL 再損傷予防のための十分な情報にはならないと考える。したがって、ACL 再建術後のパフォーマンステストでは患側下肢の機能を単独に評価する指標が必要であり、近年では運動パターンの変動が注目されている。

ACL 再建術後の変動に関して、カッティング動作や着地時において股関節屈曲/伸展と膝関節内反/外反、膝関節内反/外反と膝関節屈曲/伸展の協調性の変動が健常者と比べて大きいことが報告されている<sup>36,37)</sup>。このような大きな協調性の変動は、スポーツ動作中において膝関節を安定させる能力を妨げると考えられ、ACL 再損傷に関与する可能性がある。一方で、これらの知見は 2 つの関節間の協調性の変動であり、運動中における膝関節単独の変動を検討したものではない。

そこで本研究の目的は、ACL 再建術後患者と健常者において片脚ホップ着地時の膝関節運動の変動を比較することである。また、ACL 再建術後の女性は ACL 再建術後の男性に比べて、ACL を再損傷する可能性が 4 倍とされている<sup>38)</sup> ことから、膝関節運動の変動について性差の検討も併せて行うこととした。本研究の仮説として、ACL 再建術後患者は片脚ホップ着地時の膝関節運動の変動が大きく、ACL 再損傷メカニズムと膝関節運動の変動との関連を検討するためのエビデンスになると考える。

## 第2節. 対象

ACL 再建術後患者に対し、着地時における膝関節運動の変動係数を調査した先行研究はなかった。そのため、ACL 再建術後患者 10 名 (男性 5 名, 女性 5 名) と健常者 8 名 (男性 4 名, 女性 4 名) の片脚ホップ着地時の膝関節運動の変動係数データを算出し、G power ソフトウェア (ver.3.1.9.4.) を用いてサンプルサイズを計算すると 98 名と算出された (効果量 : 0.51, パワー : 0.8, エラー : 0.05, 配分比 : 0.8)。したがって、本横断研究の対象者は 2014 年 6 月から 2019 年 6 月までの期間において、香川県回生病院で ACL 再建術後平均 15.5 か月経過しており、本研究に協力的であった四国在住の 30 歳未満の患者 54 名 (男性 27 名, 女性 27 名) である。なお、全例が測定の前日に抜釘術を行い、膝関節鏡視下に再建靭帯が良好であることと半月板損傷がないことを確認し、再建靭帯の制動性評価として Knee Lax (インデックス社製) を用いて脛骨前方移動量の健患差を評価した。また、同じ期間中に当院に所属している健常者 44 名 (男性 22 名, 女性 22 名) を ACL 再建術後患者と比較するための対象者とした。

ACL 再建術後患者の選択基準は 1 週間に 2 回以上スポーツを行う者とし、除外基準は膝関節に痛みなどの問題があり、スポーツを控えている者とした。健常者の選択基準は、30 歳未満の

者，1週間に2回以上スポーツを行う者，下肢関節疾患の既往がない者である。なお，ACL再建術後患者と健常者において，年齢，性別，身長，体重，Tegner活動スケールに有意差を認めなかった。一方で，ACL再建術後の男女間では身長と体重に有意差を認めたが，年齢，Tegner活動スケール，ACL再建術後から片脚ホップテスト測定までの期間，脛骨前方移動量の健患差に差を認めなかった（表1）。

表1 対象者の属性

	ACL再建術後 患者(全体) n=54	ACL再建術後 男性患者 n=27	ACL再建術後 女性患者 n=27	健常者 (全体) n=44
年齢(歳)	21.1 ± 6.7	22.6 ± 6.0	20.7 ± 4.8	22.6 ± 1.4
性別(名)	男性 27 女性 27	男性 27	女性 27	男性 22 女性 22
身長(cm)	165.3 ± 8.0	171.3 ± 5.4	159.6 ± 5.5 <sup>a</sup>	164.6 ± 7.8
体重(kg)	61.7 ± 10.9	68.5 ± 10.5	55 ± 6.2 <sup>a</sup>	59.5 ± 10.1
Tegner 活動スケール	6.5 ± 1.0	6.6 ± 1.2	6.5 ± 0.7	6.4 ± 0.7
ACL再建術後から 片脚ホップテストの 測定までの期間 (月)	15.5 ± 5.2	15.6 ± 5.5	15.2 ± 4.6	
脛骨前方移動量の 健患差(mm)	1.0 ± 2.8	1.3 ± 2.7	0.8 ± 2.8	

値は平均値±標準偏差を示す，ACL:anterior cruciate ligament，a:ACL再建術後の男性患者とACL再建術後の女性患者について2標本t検定を用いて比較し，有意差あり(P<0.05)，ほか有意差なし

### 第3節. 方法

#### 第1項. 片脚ホップテスト

対象者全員に、前方への距離が最大となる片脚ホップテストを6回実施させた(図2)。なお、本研究では片脚ホップ着地時の膝関節運動のばらつきを測定することから、片脚ホップ距離のばらつきがバイアスとなる可能性がある。Dingenen ら<sup>39)</sup>は患側下肢における片脚ホップ距離の級内相関係数(intraclass correlation coefficients ; ICC)が  $ICC(2,2) = 0.94$  と報告している。また、この研究結果から片脚ホップ距離の変動係数を算出すると16%であった。本研究でも片脚ホップ距離の変動係数は12.7%であり、先行研究と同じ程度で行えていたと思われる。片脚ホップテストにおける口頭指示は「片脚で安定して着地できる最大の前方ジャンプをしてください」とし、上肢の動きは制限しなかった。成功例は、片脚立位で安定した状態からできるだけ遠くまでジャンプし、同じ下肢で着地し、着地した状態を約2秒間維持できた場合とした。対象者には事前に片脚ホップテストの練習を行わせた。疲労の影響を考慮して、試行間に約60秒間の休息時間を設けた。また、健常者においても、ボールを蹴る時に使用する下肢を測定側として片脚ホップテストを行った。

#### 第2項. 膝関節可動域および可動域の変動係数の算出

片脚ホップテストは、10台の赤外線カメラ(VICON MX, VICON Motion System, Oxford, UK)と4台のフォースプレート(AMTI; Watertown, MA, USA)を含む3次元動作解析システムを用いて計測した(図3)。サンプリング周波数は赤外線カメラが120 Hz、床反力計は960 Hzとし、運動学的データには6 Hz、運動力学的データには10 HzのButterworth filterを用いた。対象者には直径9mmの反射マーカを図4に示すランドマークに合計41個貼付した。これらの解剖学的マーカから、解析ソフトVISUAL 3D(C-Motion社製)を用いて、体幹、骨盤、大腿、下腿、足部のセグメントを作成し、8リング剛体モデルを作成した。



図2 片脚ホップテスト

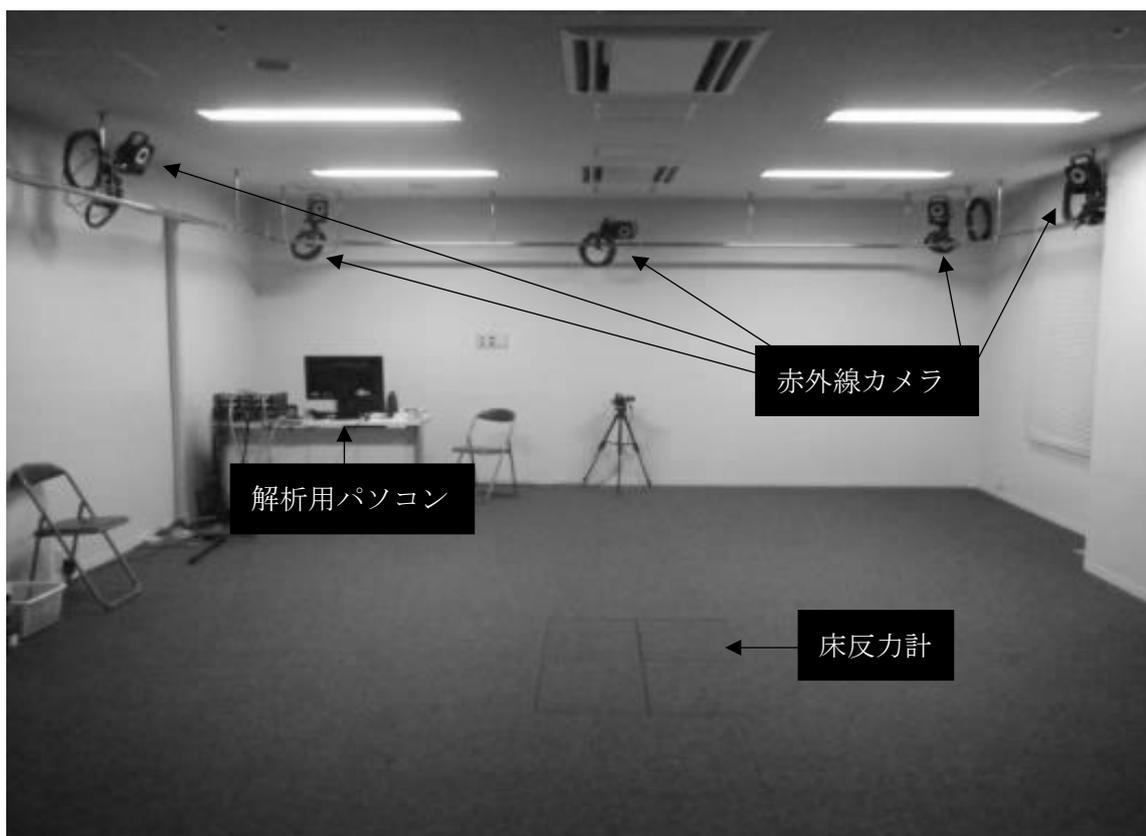


図3 動作課題の測定環境



図4 反射マーカークの貼付け位置

マーカーク貼付け位置は、左右の肩峰、肘頭、橈骨茎状突起、上前腸骨棘、上後腸骨棘、大転子、大腿骨内側上顆、大腿骨外側上顆、大腿骨上、脛骨内側顆、脛骨外側顆、腓骨上、内果、外果、踵骨外側、載距突起、踵骨後面（上、下）、第1中足趾節関節、第5中足趾節関節、右肩甲骨である。

膝関節角度はローカル座標系で、大腿部に対する下腿部の位置として定義した。膝関節外側のランドマークは大腿骨外側上顆のマーカークと脛骨外側顆のマーカークを結んだ線の中点、膝関節内側のランドマークは大腿骨内側上顆と脛骨内側顆を結んだ線の中点とし、膝関節中心は外側および内側の膝関節ランドマークの中点とした。すべての対象者は、6回の片脚ホップテスト中における膝関節角度として、X（屈曲・伸展）、Y（内反・外反）、Z（内旋・外旋）の回転順にカルダン角を用いて算出した（図5）。

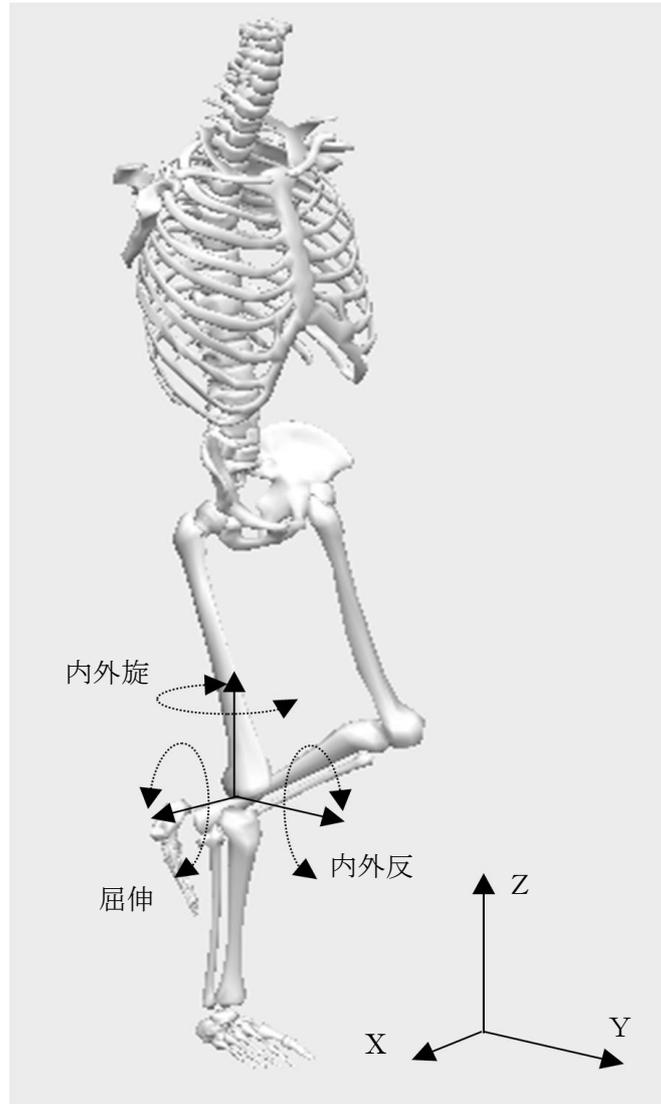


図 5 膝関節角度の計測について

片脚ホップテスト中の膝関節角度は、ACL 損傷が着地後 17~50ms の間に発生すること<sup>40)</sup>を参考にし、着地直後から 0.05 秒間を解析範囲とした。得られた膝関節角度は Brown ら<sup>27)</sup>を参考にし、解析範囲における最小値から最大値までの ROM データを算出した。なお、予備実験として、ACL 再建術後患者 6 名を対象として、本測定方法とポイントクラスタ法<sup>41)</sup>との信頼性を検討した結果、膝屈曲/伸展 ROM は ICC (3, 1) = 0.99, 膝屈曲/伸展 ROM は ICC (3, 1) = 0.83, 膝内旋/外旋 ROM は ICC (3, 1) = 0.84 であり、高い信頼性を認めた。

また、膝関節運動の変動指標として、膝関節 ROM データの変動係数を算出した。変動係数は標準偏差と平均値の比に 100 を乗じた値として、以下の式 (1) のように算出した。

$$\text{変動係数} = (\text{標準偏差} / \text{平均値}) \times 100\% \quad (1)$$

膝関節運動の変動係数に関して、ACL 損傷者 12 名を対象として信頼性の予備実験を行った結果、ICC は  $(2,1) = 0.83$  であり、高い信頼性を認めた。

#### 第 4 節. 統計学的分析

データの前処理として、膝関節 ROM と膝関節 ROM の変動係数について、Shapiro-Wilk 検定を用いて正規性検定を行い、正規分布を確認した。ACL 再建術後患者と健常者における膝関節 ROM と膝関節 ROM の変動係数を比較するとともに、ACL 再建術後患者においてはすべての変数について男性と女性で比較した。変数が正規分布しているデータの場合は 2 標本 t 検定、正規分布していないデータの場合は Mann-Whitney の U 検定を用いて比較した。すべての解析は統計ソフト (IBM SPSS Statistics Ver.26, IBM 社製) を使用し、有意水準は 5%とした。

#### 第 5 節. 結果

##### 第 1 項. ACL 再建術後患者と健常者における運動学的因子の比較

片脚ホップ着地時の膝関節 ROM は、ACL 再建術後患者と健常者で有意な差を認めなかった。一方で、膝関節内旋/外旋 ROM の変動係数は、ACL 再建術後患者が健常者に比べて大きかった (表 2)。

表 2 ACL 再建術後患者と健常者における運動学的因子の比較

	ACL 再建術後患者 n=54			健常者 n=44			
膝関節屈曲/伸展 ROM (°) a	18.8	±	3.8	21.0	±	3.9	n.s.
膝関節内反/外反 ROM (°) b	1.8	±	1.1	2.4	±	1.9	n.s.
膝関節内旋/外旋 ROM (°) b	1.4	±	1.0	2.0	±	1.4	n.s.
膝関節屈曲/伸展の変動係数 (%) b	14.5	±	13.9	11.7	±	7.9	n.s.
膝関節内反/外反の変動係数 (%) b	45.2	±	35.4	32.3	±	33.2	n.s.
膝関節内旋/外旋の変動係数 (%) a	68.4	±	32.5	48.1	±	27.8	*

値は平均値±標準偏差を示す, ACL : anterior cruciate ligament, ROM : range of motion, a : 2 標本 t 検定, b : マンホイットニー検定, \* : P<0.05, ACL 再建術後患者と健常者の比較, n.s. : not significant

## 第 2 項. ACL 再建術後患者における運動学的因子の性差

ACL 再建術後の女性患者と ACL 再建術後の男性患者において膝関節 ROM に差を認めなかったが, 膝内反/外反 ROM の変動係数は ACL 再建術後の女性患者が ACL 再建術後の男性患者に比べて有意に大きかった (表 3)

表 3 ACL 再建術後患者における運動学的因子の性差

	ACL 再建術後の 男性患者 n=27	ACL 再建術後の 女性患者 n=27	
膝屈曲/伸展 ROM (°) <sup>b</sup>	17.9 ± 3.9	19.7 ± 3.6	n.s.
膝内反/外反 ROM (°) <sup>b</sup>	1.9 ± 1.2	1.7 ± 1.0	n.s.
膝内旋/外旋 ROM (°) <sup>b</sup>	1.5 ± 1.0	1.2 ± 1.0	n.s.
膝屈曲/伸展変動係数 (%) <sup>b</sup>	14.7 ± 12.1	14.4 ± 15.7	n.s.
膝内反/外反変動係数 (%) <sup>b</sup>	34.6 ± 27.5	55.9 ± 39.6	*
膝内旋/外旋変動係数 (%) <sup>a</sup>	62.0 ± 31.2	74.8 ± 33.0	n.s.

値は平均値±標準偏差を示す，ACL：anterior cruciate ligament，ROM：range of motion，a：2 標本 t 検定，b：マンホイットニー検定，\*：P<0.05，前十字靭帯再建術後における男性と女性の比較，n.s.：not significant

## 第 6 節. 考察

本研究で得られた知見は，ACL 再建術後患者は健常者に比べて着地後 0.05 秒以内の膝関節内外旋の変動が大きく，ACL 再建術後の女性患者は ACL 再建術後の男性患者に比べて膝関節内外反の変動が大きかったことである。これらのことから，ACL 再建術後患者は着地を複数回実施すると，膝関節の内外旋が一定の範囲を超えてしまう可能性がある。また，ACL 再建術後の女性患者においては膝関節の内外反においても一定の範囲に制御する能力が低下している可能性があると考えられる。本現象は，片脚ホップ着地時において膝関節の内外反および内外旋を制御するうえで不利であり，ACL 再損傷の一因になる可能性がある。本研究結果は，「ACL 再損傷のメカニズムと片脚ホップ着地時の膝関節運動の変動との間に関連があるかどうか」を検討するための研究を行ううえでのエビデンスの一つになる。

本研究で認めた片脚ホップ着地時における膝関節水平面上での変動の増加は，これまでの ACL 再建術後の協調性の変動の結果<sup>36,37)</sup>と類似したものである。本研究では ACL 再建術後の脛骨前方移動量健患差は平均 1mm であり，再建靭帯の制動性としては良好であった。一方で，ACL を損傷すると関節固有感覚が低下し，完全な回復には ACL 再建術後 18 か月を要するという報告<sup>42)</sup>や，ACL 再建術後 3.7 年経過しても健側下肢と同等までの回復に至らなかったとの報告<sup>43)</sup>がある。したがって，ACL 再建術後患者の片脚ホップ着地時における変動増加は関節固有知覚の低下に起因する可能性がある。また，膝関節の内旋は ACL の受傷機転であり<sup>19)</sup>。膝関節

内外旋の変動の増加は膝関節の回旋制御能力の低下に関連する可能性があり、ACL再損傷予防を検討するうえで注目すべき要因になると考えた。

ACL再建術後の女性患者は男性患者と比べて、膝関節内外反ROMの差を認めなかったが、膝関節内外反の変動が大きかった。膝関節外反は膝関節内旋とともにACL損傷の受傷機転<sup>19)</sup>であり、健常女性は健常男性に比べて着地時の膝関節外反角度が大きいと報告されている<sup>44)</sup>。本結果において、ACL再建術後の男女間に膝関節内外反ROMの差を認めなかったことは、ACL再建術後に生じる膝関節周囲筋力の低下<sup>45)</sup>や再損傷の恐怖感<sup>46,47)</sup>などの影響によって、男女ともに膝関節のROMが小さくなること<sup>48)</sup>が関与したと考える。このことから、複数回の着地における膝関節の平均的なROMはACL再損傷に関連していない可能性がある。一方で、本結果で認めたACL再建術後の女性患者における膝関節内外反の変動の増加は、ACL損傷の受傷機転である膝関節外反を制御する能力の低下が示唆され、再建されたACLに過度の負担を強いる場面が増える可能性があると考えられる。以上のことから、ACL再建術後の女性患者においては膝関節の前額面上での動きが評価のポイントになると示唆された。また、McLeanら<sup>49)</sup>は、健常女性が健常男性よりも、サイドステップ時における膝関節の回旋運動の変動が大きいことを報告している。このことから、女性はACL再建術後に限らず、男性に比べて変動が大きい可能性がある。健常女性は健常男性に比べて関節の弛緩性が高く<sup>50)</sup>、女性アスリートは男性アスリートに比べて大腿四頭筋とハムストリングスの筋力も低い<sup>51)</sup>ことが変動の増加に影響している可能性が考えられるため、今後はこれらの因子が変動の性差に関連しているかどうかを検証する必要がある。

本研究では光学式モーションキャプチャーによる計測であり、マーカーを皮膚に貼付けることから皮膚の動揺による誤差が生じる。この問題を低減させる計測方法であるポイントクラスター法<sup>41)</sup>と本研究における動作の測定方法との間に高い信頼性を確認した。また、予備実験の結果から適切なサンプルサイズを決定した。これらのことから、本研究結果は一般化に適していると考えられる。一方で、男女を含んだACL再建術後患者では膝関節の水平面上でのみ変動が大きかった。これは、片脚での前方ホップという課題のために踏切の際に体幹や骨盤の回転力が発生し、着地時に膝関節の回旋制御が求められた可能性がある。膝関節の前額面上にも焦点を当てるために、他の動作課題における膝関節運動の変動の検討が今後の課題である。

## 第 2 章

### 前十字靭帯損傷者における片脚スクワット中の運動学的特性

## 第1節. はじめに

片脚での前方ホップテストでは、踏切の際に体幹や骨盤の回転力が発生する。第1章で認めた膝関節内外旋の変動の増加は、片脚ホップ着地時に膝関節の回旋制御が求められたことに起因している可能性が考えられた。したがって、膝関節の前額面上にも焦点を当てるために、身体に回転力が発生しにくいと推測される片脚スクワット動作に注目した。

片脚スクワットテストは片脚ホップテストとならんでACL損傷予防に関するスクリーニングテストとして用いられる<sup>52)</sup>。また、片脚スクワット動作は片脚ホップ着地と同様に体重負荷をしながら身体重心を垂直方向に制御することが求められる課題であり、片脚ホップ着地に比べて着地衝撃が少なく、ACL損傷者にも行える課題である<sup>53)</sup>。ACL損傷者における運動の変動を検討した報告では、降段動作中において下腿/大腿部の協調性の変動が大きいこと<sup>30)</sup>や狭い道での歩行中の歩幅と歩行速度の変動が大きいこと<sup>54)</sup>が報告されている。これらの知見から、ACL損傷者においても大きな変動を有することは確認できるが、これらの動作は日常生活動作であり、ACL損傷予防に関するスクリーニングテストでの検討は見当たらない。

そこで第2章では、片脚スクワットの下降時の膝関節運動の変動について、ACL損傷者と健常者とで比較することを研究の目的とした。第1章ではACL再建術後患者に大きな変動を有することを確認したが、ACL損傷者にも生じているかどうかを確認することは、ACL再建術前と再建術後早期において再損傷予防を考慮するうえでの情報になる可能性がある。

## 第2節. 対象

ACL損傷者に対し、片脚スクワット時における膝関節ROMの変動係数を調査した先行研究はなかった。そのため、ACL損傷者10名（男性5名、女性5名）と健常者8名（男性4名、女性4名）の片脚スクワット時の膝関節運動の変動係数データを算出し、G powerソフトウェア（ver.3.1.9.4.）を用いてサンプルサイズを計算すると102名と算出された（効果量：0.25、パワー：0.8、エラー：0.05、配分比：0.8）。したがって、本横断研究の対象者は2014年6月から2018年8月までの期間に香川県回生病院でACL損傷後平均7か月経過した四国在住のACL損傷者56名（男性28名、女性28名）であり、全例がACL再建術を行う前日に研究に参加した。また、同期間中に当院に所属する健常者46名（男性23名、女性23名）とした（表4）。

選択基準はスポーツによって受傷し、測定時に日常生活動作が自立している者とした。除外基準はYamazakiら<sup>53)</sup>を参考に、グレード2以上の内側側副靭帯損傷、半月板のロックング、激しい痛みを伴う断裂がある場合とした。健常者の選択基準は、30歳未満の者、1週間に2回以上スポーツを行う者、下肢関節疾患の既往がない者である。なお、ACL損傷者と健常者において、年齢、性別、身長、体重、ACL損傷前のTegner活動スケールに有意差を認めなかった。

表 4 対象者の属性

	ACL 損傷者 n=56	健常者 n=46	
年齢 (歳) <sup>b</sup>	19.4 ± 5.1	22.9 ± 2.9	n.s.
性別 (名) <sup>c</sup>	男性 28 女性 28	男性 23 女性 23	n.s.
身長 (cm) <sup>a</sup>	166.2 ± 7.4	163.7 ± 7.9	n.s.
体重 (kg) <sup>a</sup>	61.6 ± 11.0	58.2 ± 10.2	n.s.
ACL 損傷前の Tegner 活動スケール <sup>b</sup>	7.1 ± 0.7	6.9 ± 0.5	n.s.
ACL 損傷から片脚スクワット 測定までの期間 (月)	7.0 ± 7.9		

値は平均値±標準偏差を示す，ACL：anterior cruciate ligament，ROM：range of motion，a：2 標本 t 検定，b：マンホイットニー検定，c： $\chi^2$  乗検定，n.s.：not significant

### 第 3 節. 方法

対象者全員に片脚スクワットテストを 3 回実施させた (図 6)。ACL 損傷者は健側下肢と患側下肢で行わせ，健常者には利き足で行わせた。なお，利き足の判断は，ボールを蹴る脚とした。片脚スクワットテストでは両手は骨盤に位置すること，非支持脚は身体後方に位置すること，体幹は自然な位置にすることを口頭にて指示した。ACL 損傷者は膝関節の屈曲角度が約 70°で 10 秒間，片脚スクワット姿勢を保持できる<sup>53)</sup>。本研究において，ACL 損傷者の片脚スクワットテストは，安全性を考慮し，膝関節の屈曲角度が約 60°で 3 秒間バランスを保ちながら行わせた。片脚スクワットテストにおける動作速度の制御には，1 分間に 80 拍の周波数に設定したメトロノームを用い，2 拍子で下降し，2 拍子でスタートポジションに戻るように行わせた。すべての対象者は 3 回まで練習を行った。失敗例は非支持脚が地面に接触したり，バランスを崩したりした場合とし，目視で確認した。疲労の影響を考慮して，繰り返しの間に約 60 秒の休息時間を設けた。

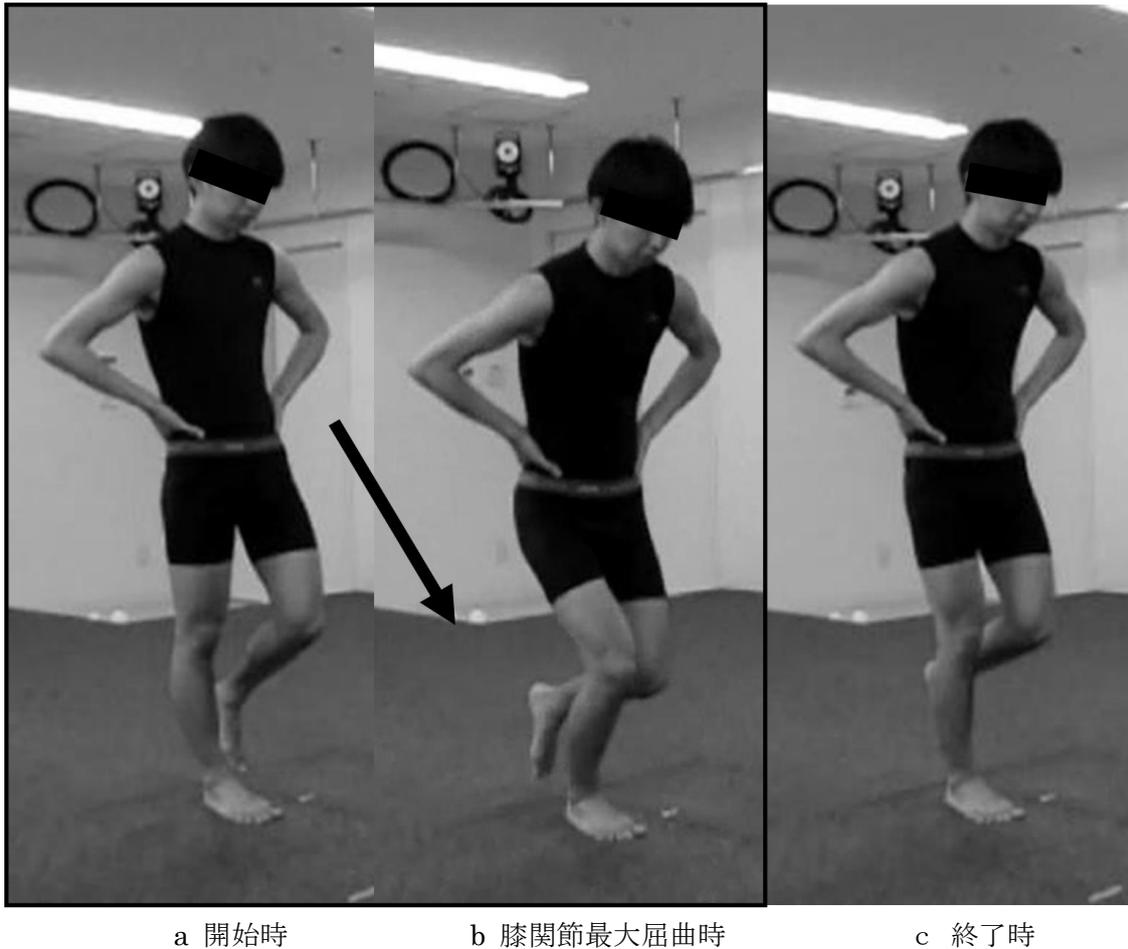


図 6 片脚スクワットテスト

片脚スクワットは a の片脚静止立位時から b の片脚での膝関節最大屈曲時までの下降時を解析範囲とした。

片脚スクワットを計測する環境は第 1 章と同様の 3 次元動作解析システムである (図 3)。片脚スクワット中の膝関節角度は、ホップ着地時の膝関節運動に類似させるために、最大膝関節屈曲位までの下降時を解析範囲とした。得られた膝関節角度は Brown ら<sup>27)</sup> を参考にし、解析範囲における最小値から最大値までの ROM データと膝関節 ROM データの変動係数を算出した。変動係数は標準偏差と平均値の比に 100 を乗じて算出した。

#### 第 4 節. 統計学的分析

ACL 損傷者と健常者の片脚スクワットの下降時に得られたすべての膝関節 ROM と膝関節 ROM の変動係数は Shapiro-Wilk 検定を用いて正規性の検定を行った。すべての変数は、ACL 損傷者の健側下肢と患側下肢および健常者の利き足について一元配置分散分析を行い、主効果が

認められる場合は多重比較を行った。正規分布の変数の場合は Tukey 法を用い、非正規分布の変数には Steel-Dwass 法を用いた。すべての統計解析は、R2.8.1 ソフトウェアを用いて行い、有意水準は 5%とした。

## 第 5 節. 結果

ACL 損傷者の健側下肢および患側下肢は健常者の利き足と比べて膝関節の屈曲/伸展 ROM が有意に小さく、ACL 損傷者の患側下肢は健側下肢と比べて膝関節の屈曲/伸展 ROM が有意に小さかった。また、ACL 損傷者の健側下肢および患側下肢は健常者の利き足と比べて膝関節の内反/外反 ROM の変動係数が有意に大きかった (表 5)。

表 5 片脚スクワット下降時の運動学的因子の比較

	ACL 損傷者 (患側) n=56	ACL 損傷者 (健側) n=56	健常者 n=46
膝関節屈曲/伸展 ROM (°) <sup>a</sup>	53.4 ± 12.1 * , †	60.0 ± 8.7 ‡	65.0 ± 11.0
膝関節内反/外反 ROM (°)	4.1 ± 2.9	4.7 ± 3.0	5.0 ± 4.6
膝関節内旋/外旋 ROM (°)	4.6 ± 2.0	5.1 ± 2.1	5.5 ± 3.5
膝関節屈曲/伸展の変動係数 (%)	9.5 ± 5.5	9.4 ± 5.4	8.3 ± 5.5
膝関節内反/外反の変動係数 (%) <sup>b</sup>	16.8 ± 14.7 †	16.8 ± 11.4 ‡	10.5 ± 9.9
膝関節内旋/外旋の変動係数 (%)	23.6 ± 15.4	28.1 ± 15.5	22.6 ± 23.2

値は平均値±標準偏差を示す, ACL : anterior cruciate ligament, ROM : range of motion, a : Tukey 検定, b : Steel-Dwass 検定, \* : P<0.05, ACL 損傷者 (患側) と ACL 損傷者 (健側) の比較, † : P<0.05, ACL 損傷者 (患側) と健常者の比較, ‡ : P<0.05, ACL 損傷者 (健側) と健常者の比較

## 第6節. 考察

本研究で得られた重要な知見は、ACL 損傷者は片脚スクワット下降時の膝関節内外反の変動が大きかったことである。片脚スクワットは片脚ホップテストよりも膝関節の前額面上の動きを観察するうえでも適していることが示唆された。また、第1章ではACL 再建術後患者に大きい変動を確認したが、本研究においてACL 損傷者（ACL 再建術が施行される前日）でも大きい変動を確認できた。このことから、ACL 損傷者における片脚スクワット時の膝関節運動の変動は、ACL 再建術後も残存している可能性があり、ACL 再損傷予防を検討するうえでの評価指標として利用できるかどうかについて検討するためのエビデンスの一つになると考えた。

ACL 損傷者において片脚スクワット下降時の大きい変動は、運動パターンの誤差あるいはエラーの結果と考える。特に、膝関節内外反の大きい変動は、膝関節の前額面上の動きの制御能力の低下と考えられ、受傷機転である着地やカッティング時の膝関節外反の増加に関連している可能性がある。ACL を損傷すると関節固有感覚が低下することから、ACL 損傷者の片脚スクワット下降時における膝関節の大きい変動は関節固有知覚の低下に起因する可能性がある。膝関節内外反の変動増加がACL 再損傷の危険因子と仮定するのであれば、片脚スクワット下降時における膝関節の前額面上の変動を改善させるために、関節固有感覚の改善を目的とした神経筋協調トレーニングに焦点をあてる必要がある。

ACL 損傷者は片脚スクワット下降時において、膝関節屈伸 ROM が小さかった。これは、ACL 損傷によって生じる膝関節周囲の筋力低下<sup>55)</sup> や膝関節不安定性の影響と考える。一方で、ACL の受傷機序に関連する膝関節の前額面上と水平面上の ROM は健常者と同様であったことから、平均的な膝関節運動量で検討するだけでは不十分であることが示唆される。Krosshaug ら<sup>56)</sup> は、710 名のアスリートに対する前向きコホート研究において、ドロップ着地時の膝関節外反角度は ACL 損傷リスクの増加に関連しないと報告している。したがって、膝関節の ROM に加えて、変動にも焦点をあてることは ACL 再損傷予防を検討するうえでの情報として活用できる可能性が示唆された。

本研究の限界は、3 回の計測結果から分析を行ったことである。ACL 損傷は片脚支持で受傷する場合が多く、片脚支持での計測は損傷時を想起し、再損傷の恐怖を感じる可能性がある。そのため、ACL 損傷者に対して、片脚スクワットの成功回数を多く得ることは困難である。ACL 損傷者における変動の検討では、3 回の試行間から算出した報告もあり<sup>36)</sup>、ACL 損傷者において異なる試行回数で算出した変動の測定値の信頼性を検討が必要である。また、ACL 損傷者は疼痛や筋力低下などの症状によって片脚スクワット動作に影響を及ぼす可能性があるため、これらの因子の影響についても検討が必要である。

### 第 3 章

前十字靭帯再建術後の再損傷者と非損傷者における  
術前の片脚スクワット中の運動学的因子の比較

## 第1節. はじめに

ACL 損傷の受傷機転は膝関節の外反, 内旋であり<sup>19)</sup>, ACL 再建術後の再損傷予防プログラムでは着地やスクワット運動中の膝関節の外反, 内旋を抑えるような指導が行われる。それにもかかわらず, ACL 再建術後における ACL 再損傷率は近年の報告でも 20%とされている<sup>14)</sup>。

これまでの研究結果から, ACL 損傷後や ACL 再建術後は着地やスクワット動作において膝関節の平均的な外反角度には差を認めなかった。この原因として, 再損傷の恐怖感<sup>46,47)</sup>などによって ACL 損傷後や ACL 再建術後は膝関節が担うべき運動を股関節や足関節が代償している<sup>57)</sup>ためと考えられる。このことから, ACL 損傷後における同側膝関節の再損傷を予防するためには, ACL 損傷予防スクリーニングテストにおいて膝関節の運動範囲のみではなく, 変動に注目する必要があると考えた。

また, 片脚スクワットは膝関節の伸展筋力低下の影響を受けやすいと考えられるが, 第2章では ACL 損傷後に生じる膝関節周囲の筋力低下<sup>55)</sup>の影響についての検討が不十分であった。第3章では, 膝関節伸展筋力低下の影響を調整し, その上で ACL 再建術後に再損傷した者としなかった者を対象として, ACL 再建術が行われる前日に測定した片脚スクワット動作中の膝関節の変動に違いがあるかを明らかにすることを目的とした。片脚スクワット動作中の膝関節運動の変動が大きい者ほど, ACL 再建術後の再損傷のリスクが高まる可能性について検証するためのエビデンスの一つになると考える。

## 第2節. 対象

対象は 2014 年 6 月から 2019 年 6 月に香川県回生病院で ACL 損傷後平均 6 か月経過した四国在住の ACL 損傷者であり, 全例が初回 ACL 再建術を行う前日に研究に参加した。選択基準は, ACL 損傷を非接触性に受傷した者, 20 歳未満の者において ACL 再損傷率が高いことから<sup>13)</sup>, 初回 ACL 再建術が 20 歳未満の者とした。また, ACL 再建術の前日に測定した片脚スクワット動作の膝関節運動制御に影響を及ぼす可能性がある膝関節痛, 膝関節の腫脹, 膝関節屈伸筋力に配慮し, ACL 再建術の前日に膝関節痛を認める者, 膝関節の腫脹を認める者, 膝関節伸展筋力健患比が 80%以下の者を除外基準とした。なお, 関節腫脹は主治医と担当理学療法士の診療録から調査した。膝関節伸展筋力は等速性筋力測定機器 CYBEX NORM (CSMI 社製) を用い, 端坐位で膝関節 90 度屈曲から 0 度の範囲, 60deg/sec の角速度で測定した。さらに, ACL 再建術後にスポーツ復帰が困難であった者やスポーツ復帰後に反対側下肢の ACL 損傷や同側下肢の半月板損傷を受傷した者は解析対象から除外した。なお, スポーツ復帰の基準は, 第1章と同様である。すべての対象者に対して ACL 再建術後 30 か月を上限として, ACL 再損傷発生の有無を調査した。調査方法は, 整形外科医が徒手検査ならびに MRI の結果を基に診断した内容を電子カルテ上から調査した。その結果, ACL 再建術後に再損傷した 9 名 (術後再損傷群) と再損傷しなかった 29 名 (術後非損傷群) が解析対象となった。なお, ACL 再建術時の年齢, 性別, BMI, 患側膝関節の屈曲筋力と伸展筋力, ACL 損傷から ACL 再建術までの待機期間, ACL 再建術時に膝関節鏡視下で確認された脛骨前方移動量健患差と半月板損傷合併の割合, ACL 再建術後のスポーツ復帰時

の Tegner 活動スケールは 2 群間に有意差を認めなかった (表 6)。

表 6 対象者の属性

	術後再損傷群 n=9			術後非損傷群 n=29			
年齢 (歳) <sup>a</sup>	15.9	±	1.2	16.8	±	1.2	n.s.
性別 (名) <sup>c</sup>	男性 3	女性 6		男性 11	女性 18		n.s.
身長 (cm) <sup>a</sup>	165.9	±	11.1	163.9	±	6.0	n.s.
体重 (kg) <sup>a</sup>	60.2	±	11.6	60.8	±	9.9	n.s.
BMI <sup>a</sup>	21.7	±	2.3	22.5	±	2.7	n.s.
患側膝関節伸展筋力体重比 (%) <sup>b</sup>	2.0	±	0.4	2.0	±	0.5	n.s.
患側膝関節屈曲筋力体重比 (%) <sup>b</sup>	1.0	±	0.2	1.0	±	0.3	n.s.
ACL 損傷から ACL 再建術までの 待機期間 (月) <sup>b</sup>	6.4	±	8.4	6.0	±	6.1	n.s.
術前の脛骨前方移動量健患差 (mm) <sup>a</sup>	7.0	±	2.0	6.2	±	2.9	n.s.
術前の半月板損傷の合併 (人) <sup>c</sup>	4	(44%)	§	12	(41%)		n.s.
内訳	LM 2, MM 1, LM と MM 複合 1			LM 4, MM 5, LM と MM 複合 3			
スポーツ復帰時の Tegner 活動スケール <sup>b</sup>	6.9	±	0.3	6.9	±	0.3	n.s.
ACL 再建術後から 再損傷までの期間 (月)	17.3	±	7.3				

値は平均値±標準偏差を示す, § ; ( ) 内は割合を表記, BMI ; body mass index, ACL ; anterior cruciate ligament, MM ; medial meniscus, LM ; lateral meniscus, a : 2 標本 t 検定, b : マンホイットニー検定, c :  $\chi^2$  乗検定

年齢, 性別, 身長, 体重, BMI, 患側膝関節の屈曲筋力と伸展筋力は ACL 再建術が行われる前日に測定した。ACL 再建術までの待機期間は ACL 損傷の診断日から ACL 再建術日までの期間を算出し, 脛骨前方移動量健患差と半月板損傷合併の割合は ACL 再建術時に膝関節鏡視下で確認した。スポーツ復帰時の Tegner 活動スケールは ACL 再建術後約 9 か月に調査した。

### 第3節. 方法

ACL 損傷者は、ACL 再建術が施行される前日に損傷側下肢の片脚スクワット動作を 3 回実施させた。第 2 章と同じ方法を用いて、片脚スクワット動作の測定および解析を行い、片脚スクワット動作の下降時における膝関節 ROM と膝関節 ROM の変動係数を算出した。

### 第4節. 統計学的分析

統計学的分析では、すべての変数を Shapiro-Wilk 検定を用いて正規性を確認した。術後再損傷群と術後非損傷群における片脚スクワット動作時の膝関節 ROM と膝関節 ROM の変動係数は、正規分布の場合に 2 標本 t 検定、正規分布でない場合に Mann-Whitney の検定を用いて比較した。すべての統計解析は、R2.8.1 を用い、有意水準は 5%とした。なお、事後の検出力検定は Gpower3.1.9.2 を用いて行い、9 名の術後再損傷群と 29 名の術後非損傷群における膝関節内反/外反の変動係数の差の検出力は 88%であった。

### 第5節. 結果

術後再損傷群は術後非損傷群に比べて、片脚スクワット下降時の膝関節内旋/外旋 ROM と膝関節内反/外反の変動係数が大きかった (表 7, 8)。

表 7 ACL 再建術の前日に測定した片脚スクワット下降時の膝関節 ROM の比較

	術後再損傷群	術後非損傷群	
膝関節屈曲/伸展 ROM (°) a	54.0 ± 9.5	49.6 ± 11.2	n.s.
膝関節内反/外反 ROM (°) b	3.1 ± 1.2	4.0 ± 2.4	n.s.
膝関節内旋/外旋 ROM (°) b	5.8 ± 2.0	3.5 ± 1.4	*

値は平均値±標準偏差を示す、ROM : range of motion, a : 2 標本 t 検定, b : マンホイットニー検定, \* : P<0.05, 術後再損傷群と術後非損傷群の比較, n.s. : not significant

表 8 ACL 再建術の前日に測定した片脚スクワット下降時の膝関節 ROM の変動係数の比較

	術後再損傷群	術後非損傷群	
膝関節屈曲/伸展変動係数 (%)	8.7 ± 4.6	5.7 ± 4.1	n.s.
膝関節内反/外反変動係数 (%)	26.7 ± 20.6	11.2 ± 8.8	*
膝関節内旋/外旋変動係数 (%)	16.9 ± 15.6	24.3 ± 17.1	n.s.

値は平均値±標準偏差を示す，ROM：range of motion，すべてマンホイットニー検定，※：P<0.05，術後再損傷群と術後非損傷群の比較，n.s.：not significant

## 第 6 節. 考察

本研究で得られた最も重要な所見は、術後再損傷群は片脚スクワット動作中の膝関節内外旋 ROM が大きく、膝関節内外反の変動係数が大きいことである。つまり、ACL 再建術の前日に測定した片脚スクワット運動中の膝関節内外旋 ROM が大きいことや、1 回ごとに膝関節内外反 ROM を安定した範囲に制御できないことは ACL 再建術後の再損傷予防を検討するための情報の一つになる。

術後再損傷群は、片脚スクワット動作中の膝関節内外反の変動が大きかった。このことは、片脚スクワット動作を実施するたびに膝関節内外反 ROM が異なることが示唆され、膝関節を制御するために生じる筋収縮も関節 ROM の変化に対応して柔軟に調整される必要がある。一方で、膝関節の屈伸や内外旋の変動には差を認めなかった。このことから、膝関節の内外反のみに柔軟な対応が必要であるとは考えにくい。片脚スクワット運動は身体重心を垂直方向に制御する動作であり、膝関節内外反よりも膝関節屈伸制御のほうがより必要になると推測される。また、第 3 章では膝関節伸展筋力低下が片脚スクワット動作の膝関節制御に関連する可能性に考慮し、膝関節伸展筋力健患比が 80%以下の者を除外した。加えて、膝関節の伸展筋力と屈曲筋力に術後再損傷群と術後非損傷群で有意差を認めなかったことから、膝関節周囲筋力の影響は少ないと考える。以上のことから、片脚スクワット動作中の膝関節内外反の変動の増加は膝関節制御を複雑にする可能性があり、ACL 再建術後の再損傷に関連する可能性があるとして示唆された。

膝関節の外反、内旋の増加は ACL 損傷の受傷機転である。本研究では術前の片脚スクワット動作中の膝関節内外反 ROM は術後の再損傷群と非損傷群で差を認めなかった。Dingenen ら<sup>58)</sup>は、膝関節外反角度のみではドロップジャンプ着地時の膝関節外反ピークモーメントと相関を認めないが、体幹の側屈角度と組み合わせることで中等度の相関を認めている。さらに、膝関節の外反角度と体幹の側屈角度と組み合わせた評価が膝関節損傷リスクを検討するのに役立つことが報告されており<sup>59)</sup>、今後は膝関節内外反 ROM の評価に加えて体幹の側屈角度と併せた検討も必要である。一方で、術後再損傷群は術前の片脚スクワット動作中の膝関節内外旋 ROM が大きか

った。全例が ACL 断裂を認め、術後再損傷群と術後非損傷群で脛骨前方移動量健患差に差がないにもかかわらず膝関節の回旋量に違いを認めたことから、ACL 不全の影響とは考えにくい。ACL 再建術が行われることで片脚スクワット動作中の膝関節内外旋 ROM が小さくなることは期待しにくく、術前、術後の片脚スクワット動作中の膝関節内外旋 ROM は評価すべきポイントのひとつになると考える。さらに、本研究では術後再損傷群と術後非損傷群で片脚スクワット動作時の膝関節屈伸 ROM には差を認めなかった。ACL 再建術後に膝関節の他動屈曲角度が 5 度小さい者は ACL 再受傷率が 2.3 倍になると報告されている<sup>15)</sup>が、本研究では全例が膝関節の他動屈曲全可動域を獲得していることや、片脚スクワット動作中での測定であったことが影響している可能性がある。

本研究の限界は、片脚スクワット動作の測定を再建術前に行ったため、本現象が ACL 再建術後に生じているかどうかについては不明である。第 1 章において、ACL 再建術後の片脚ホップ着地時にも変動の増大を認めることから、ACL 再建術後も本現象が残存している可能性はある。しかし、術後スポーツ復帰時における評価もしくは、健側での評価を行うことが今後の課題である。

第4章  
総合考察

## 第1節. 4つの研究で明らかになった知見

本研究の目的は、ACL損傷者やACL再建術後患者において、片脚スクワットや片脚ホップテスト時の関節ROMとその変動がACL再建術後の再損傷に関連する因子となるかどうかを検討した。

第1章では、ACL再建術後患者と健常者において片脚ホップ着地時の膝関節ROMの変動係数を比較した。その結果、ACL再建術後患者は健常者に比べて片脚ホップ着地後0.05秒以内の膝関節内外旋の変動が大きかった。

片脚ホップテストは身体に回転力が発生する課題であると考え、第2章では身体に回転力が発生しにくいと推測する片脚スクワットに注目した。片脚スクワットは片脚ホップ着地と同様に体重負荷をしながら身体重心を垂直方向に制御する課題であるが、片脚ホップ着地に比べて着地衝撃が少なく、ACL損傷者においても測定が可能という利点がある。ACL損傷者と健常者において片脚スクワット下降時の膝関節ROMの変動を比較した結果、ACL損傷者は膝関節内外反の変動係数が大きかった。

第3章ではACL再建術の前日に収集した膝関節ROMの変動とACL再建術後30か月を上限期日とした再損傷発生の有無との関連性を検証するために、再損傷した者としなかった者で片脚スクワット下降時の膝関節ROMの変動を比較した。その結果、ACL再建術後の再損傷群は片脚スクワット下降時の膝関節内外反の変動が大きかった。

以上の知見から、ACL損傷者やACL再建術後患者は片脚スクワットや片脚ホップ時に膝関節ROMの変動が大きく、ACL再建術後の再損傷群が非損傷群に比べても膝内外反の変動が大きいことから、ACL再建術後の再損傷予防を検討するうえで膝内外反の変動は評価ポイントの一つになると示唆された。

## 第2節. 本研究で得られた知見の臨床現場での活用

ACL再建術後の再損傷予防は重要な課題であり、再損傷に関連する因子を明確にすることが望まれている。本研究では、ACL損傷予防スクリーニングテストとして一般的に行われる片脚ホップテストや片脚スクワットに焦点をあてたため、ACL再建術後のリハビリテーション場面でも活用しやすい。また、本研究結果は片脚ホップテストや片脚スクワット時の膝関節ROMの変動が膝関節の再損傷予防を検討するうえでの評価指標の一つになり得ることを示唆するものである。膝関節外反の計測に関しては2次元動作解析でもICC(3,1)が0.8以上、測定誤差が3度未満とされており<sup>60)</sup>、臨床現場でも簡易的な評価として活用できる可能性がある。

第 5 章  
終章

## 第1節. 結論

ACL損傷者ならびにACL再建術後患者はACL損傷予防スクリーニングテスト中の膝関節ROMの変動が大きかった。運動の変動は大きすぎても小さすぎても問題が生じる<sup>61)</sup>とされているが、大きい運動変動は運動パターンの誤差あるいはエラーの結果と考えられている。運動パターンの誤差は、動作中のイメージと実際の動きの違いを大きくする可能性があり、ACL損傷は着地直後に受傷することから、このような運動パターンの誤差はACL損傷の発生に関与する可能性がある。特に、ACL再建術後において膝関節の前額面上と水平面上の変動が大きく、ACL再建術後の再損傷発生群は膝関節の前額面上の変動が大きかった。これらのことは、ACL損傷予防スクリーニングテスト中の膝関節の変動はACL再損傷予防を検討するうえでの評価のポイントになると示唆された。

## 第2節. 限界

本研究の限界は、ACL再建術後患者やACL損傷者に認めた変動の増加の原因の解明が困難であることである。ACL損傷後は関節固有感覚の低下が生じ、関節固有感覚の完全回復には最低でもACL再建術後18か月間要する<sup>42)</sup>と報告されている。ACLの再受傷の発生がACL再建術後2年以内に多い<sup>13,62,63)</sup>ことから、ACL損傷後やACL再建術後の問題点の一つである関節固有感覚低下が関連している可能性がある。一方で、第2章において、ACL損傷者は健側下肢においても片脚スクワット下降中の膝関節内反/外反ROMの変動が大きかった。このことは、大きい変動をACLの損傷前から有している可能性が考えられる。この疑問を解決するために、ACL損傷の既往のないスポーツ選手に対する前向きコホート研究について調べてみたが、このような報告は見当たらなかった。ACL損傷は1年間の発生率が1000人あたり1人以下<sup>2,3)</sup>であることから、膝関節運動の変動を用いた前向き研究の実施は難しいと考えられる。一方で、ACL損傷者の約10%が健側下肢にもACL損傷を受傷することが報告されており<sup>14,15)</sup>、ACL損傷者の健側下肢において膝関節運動の変動とACL損傷との関連性を検討することが今後の課題である。

## 謝辞

研究をご指導いただきました吉備国際大学大学院保健科学研究科の河村顕治教授に最大限の敬意と謝意を表します。また、京都橘大学健康科学部の横山茂樹先生、回生病院の研究協力者の皆様のご支援のおかげで研究活動を行うことができ、心から感謝しております。最後に、研究活動を理解し、支援してくれた家族に深く感謝します。

## 学位論文の基礎となる原著

1. Fukuda W, Kawamura K, Yokoyama S, Kataoka Y, Ikeno Y, Chikaishi N, Gomi N (2021) Joint movement variability during landing in patients with anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sports Med Phys Fitness* 61: 1629-1635
2. Fukuda W, Kawamura K, Yokoyama S, Kataoka Y, Ikeno Y, Chikaishi N, Gomi N (2021) A cross-sectional study to assess variability in knee frontal plane movement during single leg squat in patients with anterior cruciate ligament injury. *Journal of Bodywork and Movement Therapies* 28: 144-149
3. 福田航, 河村顕治, 横山茂樹 (in press) 前十字靭帯再建術後における片脚ホップ着地時の下肢関節角度から算出した変動係数の性差について. *運動器リハビリテーション*.
4. 福田航, 河村顕治, 横山茂樹, 片岡悠介, 五味徳之 (in press) 前十字靭帯再建術後の再損傷発生に関連する片脚スクワット中の運動学的因子の検討. *The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine*.

## 文献

- 1) Boden BP, Dean GS, Feagin JA, Garrett WE (2000) Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics* 23: 573-578
- 2) Takahashi S, Okuwaki T (2017) Epidemiological survey of anterior cruciate ligament injury in Japanese junior high school and high school athletes: cross-sectional study. *Res Sports Med* 25: 266-276
- 3) Sanders TL, Maradit Kremers H, Bryan AJ, Larson DR, Dahm DL, Levy BA, Stuart MJ, Krych AJ (2016) Incidence of anterior cruciate ligament tears and reconstruction: A 21-year population-based study. *Am J Sports Med* 44: 1502-1507
- 4) Lempke LB, Chandran A, Boltz AJ, Robison HJ, Collins CL, Morris SN (2021) Epidemiology of injuries in national collegiate athletic association women's basketball: 2014-2015 through 2018-2019. *J Athl Train* 56: 674-680
- 5) Longo UG, Salvatore G, Ruzzini L, Risi Ambrogioni L, de Girolamo L, Viganò M, Facchini F, Cella E, Candela V, Ciccozzi M, Denaro V (2020) Trends of anterior cruciate ligament reconstruction in children and young adolescents in Italy show a constant increase in the last 15 years. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 29 : 1728-1733
- 6) 清水泰宏, 中哲, 阿部靖之, 越智龍弥, 中馬東彦 (1997) Kyuro 膝 装具を用いた新鮮膝十字靭帯損傷の保存療法 と MRI 所見. *整形外科と災害外科* 46 : 587-590
- 7) Chalmers PN, Mall NA, Moric M, Sherman SL, Paletta GP, Cole BJ, Bach BR (2014) Does ACL reconstruction alter natural history?: A systematic literature review of long-term outcomes. *J Bone Joint Surg Am* 96: 292-300
- 8) Yasuda K, Kondo E, Ichiyama H, Kitamura N, Tanabe Y, Tohyama H, Minami A (2004) Anatomic reconstruction of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament using hamstring tendon grafts. *Arthroscopy* 20: 1015-1025
- 9) Shino K, Suzuki T, Iwahashi T, Mae T, Nakamura N, Nakata K, Nakagawa S (2010) The resident's ridge as an arthroscopic landmark for anatomical femoral tunnel drilling in ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 18: 1164-1168
- 10) Beynon B, Howe JG, Pope MH, Johnson RJ, Fleming BC (1992) The measurement of anterior cruciate ligament strain in vivo. *Int Orthop* 16: 1-12
- 11) Yasuda K, Sasaki T (1987) Muscle exercise after anterior cruciate ligament reconstruction. Biomechanics of the simultaneous isometric contraction method of the quadriceps and the hamstrings. *Clin Orthop Relat Res* 220: 266-274
- 12) Yasuda K, Sasaki T (1987) Exercise after anterior cruciate ligament reconstruction. The force exerted on the tibia by the separate isometric contractions of the quadriceps or the hamstrings. *Clin Orthop Relat Res* 220: 275-283
- 13) Astur DC, Astur DC, Novaretti JV, Cavalcante ELB, Goes A, Kaleka CC, Debieux P, Krob JJ, de Freitas EV, Cohen M (2019) Pediatric anterior cruciate ligament reruptures are

related to lower functional scores at the time of return to activity: A prospective, midterm follow-up study. *Orthop J Sports Med* 7: 1-5

14) Barber-Westin S, Noyes FR (2020) One in 5 athletes sustain reinjury upon return to high-risk sports after ACL reconstruction: A systematic review in 1239 athletes younger than 20 years. *Sports Health* 12: 587-597

15) Webster KE, Feller JA (2019) Clinical tests can be used to screen for second anterior cruciate ligament injury in younger patients who return to sport. *Orthop J Sports Med* 7: 1-7

16) Yamasaki S, Hashimoto Y, Iida K, Nishino K, Nishida Y, Takigami J, Takahashi S, Nakamura H (2021) Risk factors for postoperative graft laxity without re-injury after double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction in recreational athletes. *Knee* 28: 338-345

17) Grindem H, Snyder-Mackler L, Moksnes H, Engebretsen L, Risberg MA (2016) Simple decision rules can reduce reinjury risk by 84% after ACL reconstruction: the Delaware-Oslo ACL cohort study. *Br J Sports Med* 50: 804-808

18) Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, Rauh MJ, Myer GD, Huang B, Hewett TE (2010) 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* 38: 1968-1978

19) Koga H, Nakamae A, Shima Y, Iwasa J, Myklebust G, Engebretsen L, Bahr R, Krosshaug T (2010) Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *Am J Sports Med* 38: 2218-2225

20) Wren TAL, Mueske NM, Brophy CH, Pace JL, Katzel MJ, Edison BR, Vandenberg CD, Zaslowsky TL (2018) Hop distance symmetry does not indicate normal landing biomechanics in adolescent athletes with recent anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 48: 622-629

21) Triggsted SM, Post EG, Bell DR (2017) Landing mechanics during single hop for distance in females following anterior cruciate ligament reconstruction compared to healthy controls. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 25: 1395-1402

22) Tengman E, Grip H, Stensdotter A, Häger CK (2015) Anterior cruciate ligament injury about 20 years post-treatment: A kinematic analysis of one-leg hop. *Scand J Med Sci Sports* 25: 818-827

23) Gokeler A, Benjaminse A, Welling W, Alferink M, Eppinga P, Otten B (2015) The effects of attentional focus on jump performance and knee joint kinematics in patients after ACL reconstruction. *Phys Ther Sport* 16: 114-120

24) James CR, Dufek JS, Bates BT (2000) Effects of injury proneness and task difficulty on joint kinetic variability. *Med Sci Sports Exerc* 32: 1833-1844

25) Hafer JF, Peacock J, Zernicke RF, Agresta CE (2019) Segment coordination variability differs by years of running experience. *Med Sci Sports Exerc* 51: 1438-1443

- 26) Edwards S, Brooke HC, Cook JL (2017) Distinct cut task strategy in Australian football players with a history of groin pain. *Phys Ther Sport* 23: 58-66
- 27) Brown CN, Padua DA, Marshall SW, Guskiewicz KM (2009) Variability of motion in individuals with mechanical or functional ankle instability during a stop jump maneuver. *Clin Biomech* 24: 762-768
- 28) Summers JJ, Anson JG (2009) Current status of the motor program: revisited. *Hum Mov Sci* 28: 566-577
- 29) Stergiou N, Moraiti C, Giakas G, Ristanis S, Georgoulis AD (2004) The effect of the walking speed on the stability of the anterior cruciate ligament deficient knee. *Clin Biomech* 19: 957-963
- 30) Nematollahi M, Razeghi M, Mehdizadeh S, Tabatabaee H, Piroozi S, Rojhani Shirazi Z, Rafiee A (2016) Inter-segmental coordination pattern in patients with anterior cruciate ligament deficiency during a single-step descent. *PLoS One* 11:1-12
- 31) Barrett R, Noordegraaf MV, Morrison S (2008) Gender differences in the variability of lower extremity kinematics during treadmill locomotion. *J Mot Behav* 40: 62-70
- 32) 原毅, 小暮英輔, 久保晃 (2019) 消火器がん患者の術後合併症発症に対する運動器関連要因の影響力. *理学療法学*46 : 217-224
- 33) 福田航, 横山茂樹, 片岡悠介, 池野祐太郎, 近石宣宏, 五味徳之 (2017) 膝前十字靭帯再建術後の片脚ジャンプ動作におけるジャンプ距離と運動学・運動力学的因子の関連性. *JOSKAS* 42 : 525-530
- 34) Curran MT, Bedi A, Kujawa M, Palmieri-Smith R (2020) A Cross-sectional examination of quadriceps strength, biomechanical function, and functional performance from 9 to 24 months after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 48: 2438-2446
- 35) Ithurburn MP, Paterno MV, Thomas S, Pennell ML, Evans KD, Magnussen RA, Schmitt LC (2019) Change in drop-landing mechanics over 2 years in young athletes after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 47: 2608-2616
- 36) Srinivasan D, Tengman E, Häger CK (2018) Increased movement variability in one-leg hops about 20 years after treatment of anterior cruciate ligament injury. *Clin Biomech* 53: 37-45
- 37) Pollard CD, Stearns KM, Hayes AT, Heiderscheit BC (2015) Altered lower extremity movement variability in female soccer players during side-step cutting after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 43: 460-465
- 38) Paterno MV, Rauh MJ, Schmitt LC, Ford KR, Hewett TE (2012) Incidence of contralateral and ipsilateral anterior cruciate ligament (ACL) injury after primary ACL reconstruction and return to sport. *Clin J Sport Med* 22: 116-121
- 39) Dingenen B, Truijien J, Bellemans J, Gokeler A (2019) Test-retest reliability and discriminative ability of forward, medial and rotational single-leg hop tests. *Knee* 26: 978-987

- 40) Krosshaug T, Nakamae A, Boden BP, Engebretsen L, Smith G, Slauterbeck JR, Hewett TE, Bahr R (2007) Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. *Am J Sports Med* 35: 359-367
- 41) Andriacchi TP, Alexander EJ, Toney MK, Dyrby C, Sum J (1998) A point cluster method for in vivo motion analysis: applied to a study of knee kinematics. *J Biomech Eng* 120: 743-749
- 42) Iwasa J, Ochi M, Adachi N, Tobita M, Katsube K, Uchio Y (2000) Proprioceptive improvement in knees with anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop Relat Res* 381: 168-176
- 43) Fremerey RW, Lobenhoffer P, Zeichen J, Skutek M, Bosch U, Tscherne H (2000) Proprioception after rehabilitation and reconstruction in knees with deficiency of the anterior cruciate ligament: a prospective, longitudinal study. *J Bone Joint Surg Br* 82: 801-806
- 44) Arundale AJH, Kvist J, Hägglund M, Fältström A (2020) Jump performance in male and female football players. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 28: 606-613
- 45) Petersen W, Taheri P, Forkel P, Zantop T (2014) Return to play following ACL reconstruction: a systematic review about strength deficits. *Arch Orthop Trauma Surg* 134: 1417-1428
- 46) Trigsted SM, Cook DB, Pickett KA, Cadmus-Bertram L, Dunn WR, Bell DR (2018) Greater fear of reinjury is related to stiffened jump-landing biomechanics and muscle activation in women after ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 26: 3682-3689
- 47) Meierbachtol A, Obermeier M, Yungtum W, Bottoms J, Paur E, Nelson BJ, Tompkins M, Russell HC, Chmielewski TL (2020) Injury-related fears during the return-to-sport phase of ACL reconstruction rehabilitation. *Orthop J Sports Med* 8: 1-6
- 48) Kotsifaki A, Korakakis V, Whiteley R, Van Rossom S, Jonkers I (2019) 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* 0: 1-16
- 49) McLean SG, Neal RJ, Myers PT, Walters MR (1999) Knee joint kinematics during the sidestep cutting maneuver: potential for injury in women. *Med Sci Sports Exerc* 31: 959-968
- 50) Jansson A, Saartok T, Werner S, Renstrom P (2004) General joint laxity in 1845 Swedish school children of different ages: age- and gender-specific distributions. *Acta Paediatr* 93: 1202-1206
- 51) Nagai T, Bates N, McPherson A, Hale R, Hewett T, chilaty ND (2021) Effects of Sex and Age on Quadriceps and Hamstring Strength and Flexibility in High School Basketball Athletes. *Int J Sports Phys Ther* 16 : 1302-1312
- 52) Ugalde V, Brockman C, Bailowitz Z, Pollard CD (2015) Single leg squat test and its relationship to dynamic knee valgus and injury risk screening. *Pm r* 7: 229-235
- 53) Yamazaki J, Muneta T, Ju YJ, Sekiya I (2010) Differences in kinematics of single leg

- squatting between anterior cruciate ligament-injured patients and healthy controls. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 18: 56-63
- 54) Mazaheri M, Negahban H, Soltani M, Mehravar M, Tajali S, Hessam M, Salavati M, Kingma I (2017) Effects of narrow-base walking and dual tasking on gait spatiotemporal characteristics in anterior cruciate ligament-injured adults compared to healthy adults. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 25: 2528-2535
- 55) Chung KS, Ha JK, Yeom CH, Ra HJ, Lim JW, Kwon MS, Kim JG (2015) Are muscle strength and function of the uninjured lower limb weakened after anterior cruciate ligament injury? Two-year follow-up after reconstruction. *Am J Sports Med* 43: 3013-3021
- 56) Krosshaug T, Steffen K, Kristianslund E, Nilstad A, Mok KM, Myklebust G, Andersen TE, Holme I, Engebretsen L, Bahr R (2016) The vertical drop jump is a poor screening test for ACL injuries in female elite soccer and handball players: A prospective cohort study of 710 athletes. *Am J Sports Med* 44: 874-883
- 57) Pozzi F, Di Stasi S, Zeni JA, Barrios JA (2017) Single-limb drop landing biomechanics in active individuals with and without a history of anterior cruciate ligament reconstruction: A total support analysis. *Clin Biomech* 43: 28-33
- 58) Dingenen B, Malfait B, Vanrenterghem J, Verschueren SM, Staes FF (2014) The reliability and validity of the measurement of lateral trunk motion in two-dimensional video analysis during unipodal functional screening tests in elite female athletes. *Phys Ther Sport* 15: 117-123
- 59) Dingenen B, Malfait B, Nijs S, Peers KH, Vereecken S, Verschueren SM, Staes FF (2015) Can two-dimensional video analysis during single-leg drop vertical jumps help identify non-contact knee injury risk? A one-year prospective study. *Clin Biomech* 30: 781-787
- 60) Munro A, Herrington L, Carolan M (2012) Reliability of 2-dimensional video assessment of frontal-plane dynamic knee valgus during common athletic screening tasks. *J Sport Rehabil* 21: 7-11
- 61) Stergiou N, Harbourne R, Cavanaugh J (2006) Optimal movement variability: a new theoretical perspective for neurologic physical therapy. *J Neurol Phys Ther* 30: 120-129
- 62) Capin JJ, Khandha A, Zarzycki R, Manal K, Buchanan TS, Snyder-Mackler L (2017) Gait mechanics and second ACL rupture: Implications for delaying return-to-sport. *J Orthop Res* 35: 1894-1901
- 63) Nawasreh Z, Adams G, Pryzbylkowski O, Logerstedt D (2018) Influence of patient demographics and graft types on ACL second injury rates in ipsilateral versus contralateral knees: A systematic review and meta-analysis. *Int J Sports Phys Ther* 13: 561-574

### TEGNER ACTIVITY LEVEL SCALE

あなたが怪我する前で最近の活動レベルを記載してください。

受傷前：Level \_\_\_\_\_ 現在：Level \_\_\_\_\_

Level 10 (競技レベル)	サッカー、ラグビー (国際レベル)
Level 9 (競技レベル)	サッカー、ラグビー (下部リーグ)、アイスホッケー、レスリング、体操、バスケットボール
Level 8 (競技レベル)	ラケットボール、バンディ、スカッシュ、バドミントン、陸上競技選手 (跳ぶ等)、ダウンヒルスキー
Level 7 (競技レベル)	テニス、ランニング、モーターカー、ハンドボール、レクリエーション：サッカー、ラグビー、バンディ、アイスホッケー、バスケットボール、スカッシュ、ラケットボール、ランニング
Level 6 (レクリエーション)	レクリエーションスポーツ：テニス、バドミントン、ハンドボール、ラケットスポーツ、ダウンヒルスキー、週 5 回以上のジョギング
Level 5	力仕事 (重労働) (建築等) 競技スポーツ (サイクリング、クロスカントリースキー) レクリエーション：ジョギング、 週 2 回以上の不整地でのジョギング
Level 4	適度な重労働 (e.g.トラックの運転等)
Level 3	軽度の仕事 (看護師等)
Level 2	軽度の仕事 不整地での歩行は可能、ハイキングは不可能
Level 1	座位仕事 (秘書や事務等)
Level 0	膝怪我のため病休か障害年金

### SURGICAL HISTORY

過去の膝手術歴はありますか？はい/いいえ

「はい」と答えた方：術式？ \_\_\_\_\_

手術日？ \_\_\_\_\_

術者？ \_\_\_\_\_