

論文内容の要旨

申請者氏名 福田 航

論文題目 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

「序論」

前十字靭帯 (Anterior cruciate ligament ; ACL) 損傷はスポーツ中に発生する膝損傷である。ACL再建術後の再損傷率は20%程度であり、再損傷予防が喫緊の課題である。ACL再損傷の危険因子の一つに着地時の膝関節外反角度の増加があり、スクワットや着地動作を用いて評価される。しかし、ACL再建術後の着地時の報告では、膝関節の最大外反角度は健常人と比べて差がない。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。運動の変動は「障害と関連しているのか」という観点から研究が進んでおり、運動の変動は誤差あるいはエラーの結果であると指摘されている。このことから、着地時の膝関節外反の変動が大きいと、着地時の膝関節運動の制御が繁雑になり、ACL再損傷に関連する可能性がある。

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、スクワットや着地動作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し、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。

「第1章」

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を目的とした。対象者はACL再建術後平均15.5か月時の患者54名と健常者44名である。対象者は片脚ホップテストを6回実施し、10台の赤外線カメラと4台の床反力計を含む3次元動作解析システムを用いて着地直後から0.05秒間の膝関節角度を算出した。なお、関節角度は最小値から最大値までの可動域 (range of motion ; ROM) を算出した。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を乗じて算出した。すべての運動学的変数をACL再建術後患者と健常者で比較した結果、片脚ホップ着地時の膝関節内旋/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 (ACL再建術後患者 $68.4 \pm 32.5\%$, 健常

者 $48.1 \pm 27.8\%$)。

「第2章」

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運動の変動を比較することを目的とした。対象者はACL損傷後平均7か月経過した患者56名と健常者46名である。対象者は片脚スクワットを3回実施し、第1章と同じ方法を用いて、片脚スクワット下降相の膝関節ROMとその変動係数を算出した。なお、下降相は膝関節が最大屈曲位までの範囲とした。すべての運動学的変数をACL損傷者と健常者で比較した結果、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内反/外反ROMの変動係数が有意に大きかった (ACL損傷者の健側下肢 $16.8 \pm 11.4\%$, ACL損傷者の患側下肢 $16.8 \pm 14.7\%$, 健常者の利き足 $10.5 \pm 9.9\%$)。

「第3章」

ACL再建術後に再損傷した者としなかった者に区分して、ACL再建術が行われる前日に測定した片脚スクワット下降時の膝関節ROM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。対象はACL再建術の前日に片脚スクワット測定を行い、ACL再建術後30か月まで経過観察が可能であった者である。選択基準は、ACL損傷を非接触性に受傷した者、ACL再建術が20歳未満の者とし、除外基準は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%以下の者とした。すべての対象者に対して経過観察中に再損傷発生の有無を調査し、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) を解析対象とした。術後再損傷群と術後非損傷群は、第2章と同じ方法を用いて得られた片脚スクワット下降相における膝関節ROMとその変動係数を比較した。結果、術後再損傷群は術後非損傷群に比べて膝関節内反/外反ROMの変動係数が大きかった (術後再損傷群 $26.7 \pm 20.6\%$, 術後非損傷群 $11.2 \pm 8.8\%$)。

「総合考察」

ACL損傷者やACL再建術後患者は片脚スクワット下降時や片脚ホップ着地時に膝関節ROMの変動が大きくなり、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かった。このことから、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。片脚ホップや片脚スクワットは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、膝関節外反の計測は2次元動作解析でも信頼性が確認されており、本知見は臨床現場で活用できる可能性がある。

「終章」

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増加の原因が解明できないことである。原因については、ACL損傷後やACL再建術後に生じる関節固有感覚の低下と関連している可能性やACL損傷を受傷する以前から素因として有している可能性が考えられる。ACL損傷は1年間の発生率が1000人あたり1人以下であり、前向き研究を行うのは困難である。今後は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課題である。

氏 名 : 福田 航

学位の種類 : 博士 (保健学)

学位記番号 : 甲第保-39号

学位授与の日付 : 令和4年3月22日

学位授与の要件 : 学位規程第4条第3項該当 (課程博士)

学位論文題目 : 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

論文審査委員 主査 : 原田 和宏
副査 : 佐藤 三矢
副査 : 中嶋 正明

審査結果の要旨

本論文は前十字靭帯 (Anterior cruciate ligament ; ACL) 損傷再建術後患者あるいはACL損傷者において、スクワットや着地動作の膝関節運動の変動を明らかにし、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検討することを目的とした。

本論文は3つの章で構成された。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運動の変動を比較することを目的とし、片脚ホップ着地時の膝関節内旋/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いことを見出した。第2章では、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運動の変動を比較することを目的とし、ACL損傷者の健側下肢および患側下肢では、健常者の利き足と比べて、膝関節内反/外反ROMの変動係数が有意に大きいことを見出した。第3章では、ACL再建術後30か月まで経過観察を行い、ACL再建術後に再損傷した者としなかった者に区分して、ACL再建術が行われる前日に測定した片脚スクワット下降時の膝関節ROMの変動の違いを比較することを目的とし、術後再損傷群は術後非損傷群に比べて膝関節内反/外反ROMの変動係数が大きいことを明らかにした。一連の研究結果により、ACL再建術後の再損傷予防を検討するうえで片脚スクワット下降時の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。片脚ホップや片脚スクワットは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、膝関節外反の計測は二次元動作解析でも信頼性が確認されていることから、本知見は臨床現場で活用できると意義付けされた。本研究はスポーツにおいて発生頻度の高いACL損傷に着目し、入念に構築された研究計画を5年もの歳月をかけて実現した。受傷の起点となる動作を精緻に分析し、将来のスクリーニング法を導くものとみなせ、世界のスポーツ競技者もしくはスポーツ愛好者人口を鑑みるなら価値は高いと判断された。

口頭試問では、第2章でACL損傷者の健側下肢についても変動係数が大きかったことが意味する点を問われ、全身の関節弛緩性の客観データに関する追加質問がなされたが、研究限界を踏まえ、かつ研究デザインおよびデータ解析結果から飛躍することなく、適切な研究チームを使って回答を行うことができた。今後の展望についても、これからのデータ社会で安価なデバイスを活用してスクリーニング評価ができる見通しを回答できた。

以上のことから、主査ならびに副査は、本研究論文がACL損傷予防法の構築に寄与し、ひいては国民の健康増進、福祉の向上につながるものと評価した。社会的課題への探求、研究疑問の設定、仮説検証のためのデータ収集、研究限界が適切に認識され、そして新規性と意義は明確であることから、博士論文として「合」と判断するにふさわしいという結論に達した。