

# 論文内容要旨

Dependence on visual information in patients with  
ACL injury for multi-joint coordination during  
single-leg squats: a case control study

(ACL 損傷患者の片脚スクワット時の多関節コーディネーションにおける視覚情報への依存：症例対照研究)

BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation,  
16(1):87. (2024)

主指導教員：安達 伸生教授

(医系科学研究科 整形外科学)

副指導教員：大段 秀樹教授

(医系科学研究科 消化器・移植外科学)

副指導教員：味八木 茂講師

(広島大学病院 未来医療センター)

鳥山 実

(医歯薬保健学研究科 医歯薬学専攻)

## 【はじめに】

前十字靭帯（ACL）損傷はスポーツにおける重篤な外傷の1つである。ACL再建手術後の再損傷や反対側の損傷リスクは高く、これには効果的な予防プログラムの欠如していることが関係している。ACL損傷を予防するためには成熟した神経筋制御が必要とされ、多くの報告では神経筋制御は足圧中心（COP）の動きで評価される。ACL損傷者は健常者と比べCOPの制御が稚拙であり、ACL再建術によりCOP制御の一部を回復させるという報告があるものの、一方でACL再建者と健常者との間のCOPの平均速度に有意な差はないとの報告もあり、一定の見解は得られていない。さらに単関節や2関節の制御によるACL損傷リスク増加の報告があるものの、いくつかの研究では非接触ACL損傷が複数方向の関節モーメントから生じることを示唆している。これらの研究は、複数関節にわたる関節運動制御が姿勢の安定化およびACL損傷の予防に繋がる可能性を示している。さらに視覚情報の有無の影響としてACL損傷者は閉眼静止立位でのCOP移動が大きくなることが知られているが、運動課題が静的であり、ACL損傷者のリスクを解明するには不十分である。以上よりACL損傷予防のためにはより動的な課題で複数関節制御における視覚への依存性を解明することが必要であると考えられる。本研究の目的は、異なる視覚情報における片脚スクワット中のACL損傷者における神経筋制御の違いを明らかにすることである。

## 【方法】

本研究には非接触型ACL損傷患者23名（男性11名、女性12名、年齢 $21.7 \pm 6.9$ 歳（平均±標準偏差））が参加した。対象者の選択基準はMRIおよび理学所見でACL損傷と診断され、ACL再建が必要とされた者とした。比較対象として、年齢と体格をマッチさせた健常者23名（男性11名、女性12名、年齢 $21.7 \pm 5.5$ 歳）が参加した。

運動学データは、16台の赤外線カメラを備えた3次元運動解析システムを使用して取得した。被験者は赤外線反射マーカを身体45箇所に貼付され、連続12回の片脚スクワット（SLS）を実施した。SLSは開眼（OE）と閉眼（CE）条件で実施され、ACL損傷者では損傷側（ACLD）と非損傷側で実施された。得られたマーカ座標から下肢の関節角度および重心（COM）を計算し、股関節屈伸、股関節内外転、膝関節屈伸のCoupling angleを計算した。COMの垂直方向の加速度から上昇相と下降相に分割し、Circular statisticsに基づいて各相のCoupling angle variability（CAV）を求めた。施行全体におけるCoupling angleデータの複雑性を確認するためにサンプルエントロピー（SaEn）を算出した。また視覚情報の影響を調べるためにCE/OE indexを計算した。統計解析は群（健常者、ACLD、非損傷）および条件（OEとCE）が、CAV、SaEnに与える影響を評価するために二元配置分散分析（ANOVA）を実施した。CE/OE indexにはOne way ANOVAを実施し、ANOVAで有意な主効果や交互作用が認められた場合、Tukey-Kramer多重比較検定を実施した。CE/OE indexによるACL損傷リスク予測をROC曲線（AUC）分析で比較した。カットオフ値はYouden指数が最大となる点で定義した。すべての統計解析において $p < 0.05$ を統計的に有意とした。

【結果】上昇期のCAVについて条件の主効果があり（ $p < 0.001$ ）、下降期のCAVでも条件の主

効果が見られた ( $p = 0.048$ ,  $F = 3.99$ )。また SaEn にも条件の主効果が認められ ( $p < 0.001$ )、全て CE で増加した。一方で、群の主効果はなかった。下降期の CAV の CE/OE index、は健常者で  $1.08 \pm 0.25$ 、ACL D で  $1.39 \pm 0.49$ 、非損傷側で  $1.29 \pm 0.43$  であり ACL D が健常者に比べて高かった ( $p = 0.036$ )。SaEn の CE/OE index は健常者で  $1.29 \pm 0.16$ 、ACL D で  $1.46 \pm 0.31$ 、非損傷側で  $1.55 \pm 0.43$  で、非損傷側が健常者に比べて高かった ( $p = 0.027$ )。ROC 曲線分析の結果、SaEn の CE/OE index のカットオフは 1.477 と算出され (感度 0.957、特異度 0.478)、AUC は 0.677 (95% CI 0.513–0.84) であった。

#### 【考察】

課題動作について、全群において OE よりも CE で CAV と SnEn は増加していたことから、課題動作は適切であったと考えられる。本研究では ACL 損傷者の視覚情報依存を定量化するために CE/OE index を評価した。その結果、下降期の CAV の CE/OE index が健常者に比べて ACL 損傷側で高く、非損傷側の SaEn の CE/OE index が健常者と比べて高いことが明らかになった。これらの結果は、ACL 損傷者が損傷前から視覚依存の運動戦略を使用している可能性がある。ACL 損傷者は反対側の運動パターンが健常者と異なることが知られており、視覚情報の欠如はより硬直した運動パターンを亢進させる。これにより、ACL 損傷者が視覚情報の欠如によって感覚情報を収集が必要な動的課題を実行する際に、より硬直した運動パターンを示すことが示唆された。これらの変数の臨床的意義を理解するために、ROC 分析を使用して、ACL 損傷のリスクを特定した。カットオフ値は 1.477 で、感度は高く、特異度は低いものの、予防プログラムのための臨床スクリーニングには有用であることが示された。

【まとめ】ACL 損傷者は SLS 中に多関節 CAV および SaEn の CE/OE index が健常者よりも高く、視覚情報依存が高いことを示した。この結果は、ACL 損傷者の神経筋制御の評価およびリハビリテーションにおいて視覚依存を考慮する重要性を示している。