

2. 前十字靭帯損傷のリスク因子

小笠原一生*

●はじめに

前十字靭帯 (ACL) 損傷の重篤さは誰もが認識するところであり、効果的な予防法の確立は、スポーツ医学研究の重要課題である。毎年、ACL 損傷に関して多数発表されており、その中には“risk factors of ACL injury are still unknown”と述べる論文も少なくない。近年においても ACL 損傷数に顕著な減少がない現状を鑑みれば、上記の主張は正しいかもしれない。しかし、著者の意見はやや異なる。リスク因子自体は、ある程度分かっているものの、それら多様なリスク因子の相互関係やメカニズムとの繋がりを包括的に説明する概念の欠落が、ACL 損傷関連研究の課題であると考えている。ここでは教科書的なリスク因子の紹介は他誌に譲り、リスク因子とメカニズムを包括する概念についての著者の考えを述べる。

●ACL 損傷メカニズムの階層モデルとリスク経路 (risk path way)

著者は、それぞれの ACL 損傷の背景には、①単関節の解剖学的・力学的メカニズム、②多関節・全身的なメカニズム、③動作的要因、④認知的要因、⑤環境要因 (環境からの要求)、によって階層化されたメカニズムとリスク因子のつながりが存在すると考えている (図1)。①、②階層がメカニズムであり、③階層以上がリスク因子という捉え方である。“メカニズム”とは直接的 (単関節)、あるいは間接的 (多関節での運動連鎖により) に、ACL 損傷の瞬間に靭帯に力学的負担を生じ、損傷に至らしめる最終的条件であり、階層①の代表的なものには、脛骨の前方引き出し力 (tibial ante-

rior shear force) や、膝外反内旋複合ストレス (combined knee valgus and tibial internal rotation moment) などがある。一方、階層③以上のリスク因子とは、そのもの自体が ACL 損傷の力学負担にはならないが、階層⑤～③に含まれる特定のリスク因子間の連鎖によって、階層②→①の力学的メカニズムの誘引となる因子群である。階層が上位になるほどに、その階層に含まれる要素数は増え、多様になっていく。すべての ACL 損傷の背景には個別の階層⑤環境→階層①力学負担にいたるリスク経路 (risk path way) が存在するはずである。症例検討的には、個別の ACL 損傷がどのようなリスク経路の結果生じたのか精査することが意味を持ち、統計的にはどのリスク経路が多数症例の共通経路となっているかを抑えることが重要である。さらに予防の観点からは、②や①の最終的力学メカニズムに至る“前”のどのポイントでリスク経路が遮断できるかを考え、適切な予防策を立てることが鍵となる。

具体的な ACL 損傷1例 (図2) でリスクの階層構造を説明する。女子ハンドボールの国際試合中に攻撃選手が右足かかと減速時に損傷する場面である。この時右膝は典型的な外反内旋位を呈したことから、①階層は膝外反内旋複合ストレスであったと考えられる。Kanamori et al.¹⁾に代表される屍体膝力学試験によって膝外反内旋複合ストレスが ACL 張力を増すこと、Koga et al.²⁾の症例報告によって ACL 損傷時に膝外反+内旋変位を呈する例が報告されているが、どのような動きがこの複合ストレスにつながるかは定かではなかった。著者らは床反力の作用点が後足部にある場合に膝外反内旋複合ストレスが高頻度に惹起することを理論的、実験的に確認し、かかと減速という動作が膝外反内旋複合ストレスを引き起こす②多

* 大阪大学大学院医学系研究科運動制御学教室

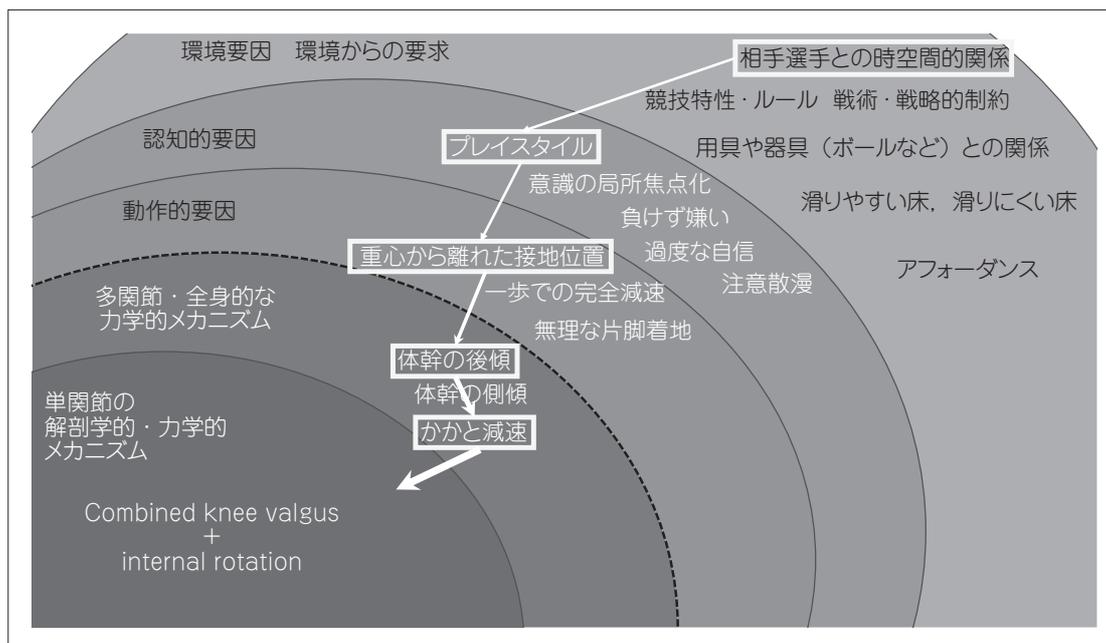


図 1 ACL 損傷のメカニズムとリスク因子の階層モデル

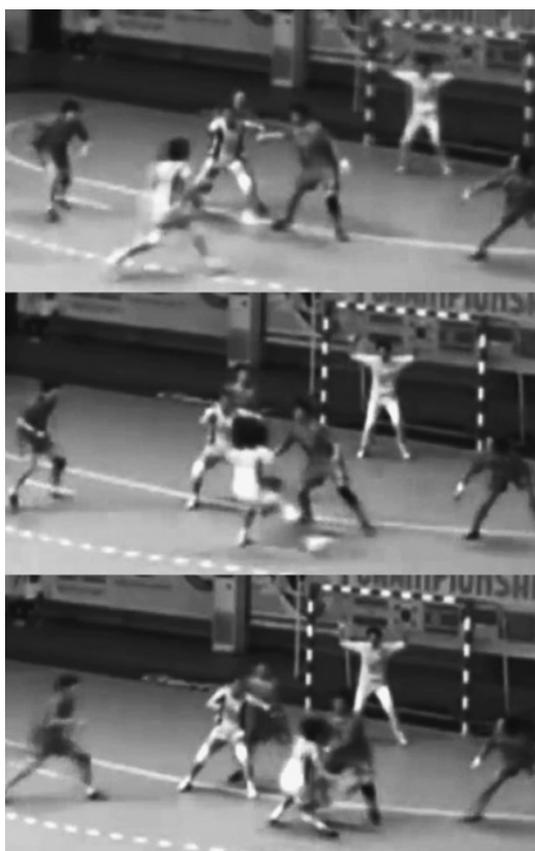


図 2 ハンドボールにおける ACL 損傷の 1 例

関節・全身的メカニズムであることを報告してきた³⁾。さらに現在検証中であるが、かかと減速を引き起こす要因として、体幹部後傾や極端な前方へ

の接地といった③動作要因があることが著者らのバイオメカニクスの検討により明らかになりつつ有る。実際、図 2 の例も、接地足は体重心からかなり前へ置かれ、結果かかと接地となった後の ACL 損傷である。階層④以上は、バイオメカニクスの説明では成り立たず、競技特性や受傷者の個性が影響する因子が複数存在する。図 2 の受傷選手は攻撃的で相手防御選手との接触を好むスタイルを得意としており、この受傷場面でも対応する防御選手に対してフェイクを使った 1 対 1 を試みている(結果、右脚接地時に ACL 損傷している)。しかし、ハンドボールの戦術的には、この場面では 1 対 1 は妥当な選択ではなく、防御選手越しに上からジャンプシュートを放つ方が効果的な攻撃である。その根拠は、対応する防御選手が攻撃選手に対して間を詰めておらず(防御技術が未熟であったことが推察される)、攻撃者に対して腕を振り切るのに十分な“間”を与えていたからである。この“間”に対して、接触プレイを好む攻撃選手は、シュートを選択せず、防御選手との間を埋めたいという心理(④認知的要因)のもと、右脚を空間に差し入れる形となり、前方への接地→かかと減速→膝外反内旋複合ストレス→非接触型 ACL 損傷という経路を辿ったものと思われる。⑤環境要因は、この ACL 損傷に至るまで瞬間の相手防御選手の配置等、攻撃選手の不適切な戦

術行動や姿勢制御を afford した事柄がすべて含まれる。この個別例において相手防御選手の振る舞い（⑤環境要因）や、攻撃選手の判断（④認知的要因）が少しでも違っていれば最終的な ACL 損傷には至らなかったと推察される。

●まとめ 予防に役立つリスク因子の理解に向けて

これまでの ACL 損傷リスクの研究で明らかにされてきたものが本の各章ならば、本稿で提案する階層モデルは、それらを束ねる目次のような役割であろう。ACL 損傷のリスク因子は、関節力学、身体運動学、認知・心理、環境まで多様な切り口で研究されてきた。それら性質の異なる多様で複雑な因子間構造を整理し俯瞰する 1 つの方法が階層モデルである。本稿で提案した考え方は今後充実させる余地を残すが、妥当な予防策の検討のみならず、異なる領域の ACL 損傷研究者による階層を超えた議論にも貢献する概念であると期待している。個別リスク因子の積み上げ（構成論的理

解）も大切であるが、それらの共通項の構造と繋がりを捉えた演繹的理解が ACL 損傷の理解を一層進めるものと期待する。

文 献

- 1) Kanamori A, Zeminski J, Rudy TW, et al. The effect of axial tibial torque on the function of the anterior cruciate ligament A biomechanical study of a simulated pivot shift test. *Arthrosc J Arthrosc Relat Surg.* 2002; 18(4): 394-398.
- 2) Koga H, Bahr R, Myklebust G, et al. Estimating anterior tibial translation from model-based image-matching of a noncontact anterior cruciate ligament injury in professional football: a case report. *Clin J Sport Med.* 2011; 21(3): 271-274.
- 3) Ogasawara I, Koyanagi Y, Nakata K. Rearfoot Impact More Frequently Induces Knee Valgus and Internal Rotational Combined Loading in Side-Cut Task. *Medicine & Science in Sports & Exercise.* 46 (5): S316.