

# なぜ、膝はケガをしやすいのか

## ——膝の構造と受傷メカニズム

大見頼一・スポーツ傷害予防チームリーダー、日本鋼管病院リハビリテーション科理学療法士、保健医療学修士

今回は膝がどのような仕組みでショックを吸収しているか、その構造についてと、どのようにしてケガが起こるのかについて解説していただく。

### はじめに

私たちは膝の外傷予防を第一に考えております。その理由としては、第一に膝の外傷、とくに前十字靭帯（ACL）損傷がスポーツ復帰まで最低6カ月はかかる最も重篤なケガであること、第二に膝の外傷を予防することは、正しいアライメントで動くことなので、他の下肢傷害も防ぐことにつながることを考えられるためです。

予防トレーニングを考える前に、膝の不安定な構造を理解すること、またどのようなパターンでACL損傷が起こっているか（受傷機転）をまずとらえる必要があります。そこで今回は、予防トレーニングの実際に入る前にこれから予防トレーニングを行いたい理学療法士やトレーナー、一般の方々を対象に、膝の構造

と受傷機転について取り上げたいと思います。

### 1. 膝はどのような構造なのか？

#### 膝関節と股関節の違い

なぜ膝関節の靭帯損傷、とくにACL損傷はスポーツ外傷の中でも一番重篤になってしまうのでしょうか。それは関節の構造の違いによるものだと考えられます。膝関節を股関節と比較してみると、膝関節（脛骨大腿関節）は蝶番関節で、股関節は球関節です。股関節は骨同士が互いに連結して関節を安定させていますが（骨性支持）、膝関節では大腿骨と脛骨の間に骨性支持は全くありません（図1）。よって、膝関節は静的支持機構として靭帯や半月板、動的支持機構として強力な筋肉によって支持されています。

骨性支持がなく、靭帯・半月板・筋肉によって支持されているのが、膝の構造であり、この支持機構が脆弱な場合、膝靭帯損傷のリスクが高くなります。

### 靭帯について

膝には4本の靭帯があり、正面から見て内側にあるのが内側側副靭帯（MCL）、外側にあるのが外側側副靭帯（LCL）です。この2本の靭帯で膝の外反・内反を防いでいます。次に膝関節の関節包の中にあり、お互いがクロスしている十字靭帯、前方が前十字靭帯（ACL）、後方が後十字靭帯（PCL）です。このクロスした2本の靭帯で膝の前後方向の動揺と回旋を防いでいます（図2）。ACLの役割は、大腿骨に対して脛骨が前方に脱臼するのを防ぐことです。

膝を側面からみると、脛骨が前方へ脱臼するのをACLが防いでいることがよくわかります（図3）。ACLと大腿四頭筋・ハムストリングスの関係について考えてみると、大腿四頭筋が単独で収縮すると脛骨が前方に引っ張られ、ACLには引き伸ばされるストレスがかかります。これに対して、ハムストリングスは、脛骨を後方に引く働きがあるので、ACLを助けているといえます。実際のスポーツ場面では、ストップ動作で大腿四頭筋のみではなくハムストリングスも収縮する、つまり同時収縮が起きると膝関節は安定し、ACLにかかるストレスは減ります。女子選手はストップ動作の際にハムストリン

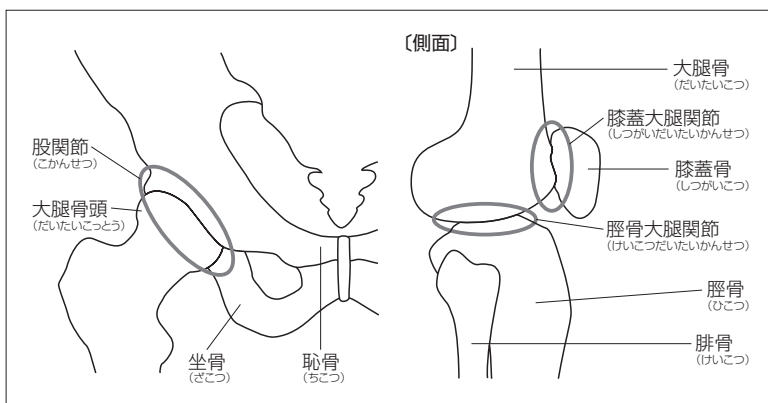


図1 膝関節と股関節の違い

グスがうまく働かず、大腿四頭筋が優位でストップしているともいわれています。

**なぜ、ACL損傷は重篤な傷害になるのか？**

よく起きる足関節捻挫＝前距腓靭帯(ATF)損傷は、ACL損傷と同じ靭帯損傷です。しかし、足関節捻挫で手術になったという話はあまり聞かないと思います。それは、ACLは関節包内靭帯であるのに対して、ATFは関節包外靭帯であることがその理由です。ACLの血行は、中膝動脈の1本の枝が後方の滑膜をているのみで、血行が不良であり、自然治癒能力が乏しいのです。一方、ATFやMCLは、血行が豊富で損傷しても、断端がきちんと修復位置にあれば治癒が期待できます。よってATF損傷やMCL損傷は基本的に保存療法が適応となり、ACL損傷は手術療法(他の部位から腱を採取して、新しい靭帯をつくり直す手術＝再建術)が適応になります。

ACL再建術では、移植腱はリモデリングという過程を通じて、靭帯様組織になります。このリモデリングに長い時間がかかるため、スポーツ復帰時期が早くても6カ月とされているのです。近年の研究では、移植腱は、約1年で正常ACLに近似した組織にはなりますが、電子顕微鏡により詳細に観察すると再建した靭帯のコラーゲン線維径は術後15カ月経過時でも正常ACLより小さいとされています。よって、移植腱は正常ACLと全く同じ組織特性にはならないと考えられます。また、移植腱の強度がどのくらいの強さに戻るかも正確なことはわかっていません。これは人間の身体に再建した靭帯を取り出して引っ張り強度を調べることができないからです。再建術を受け

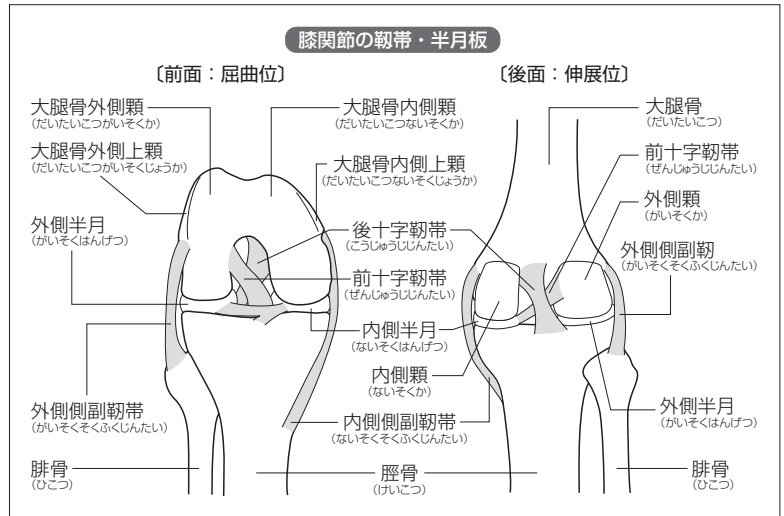


図2 膝関節の解剖

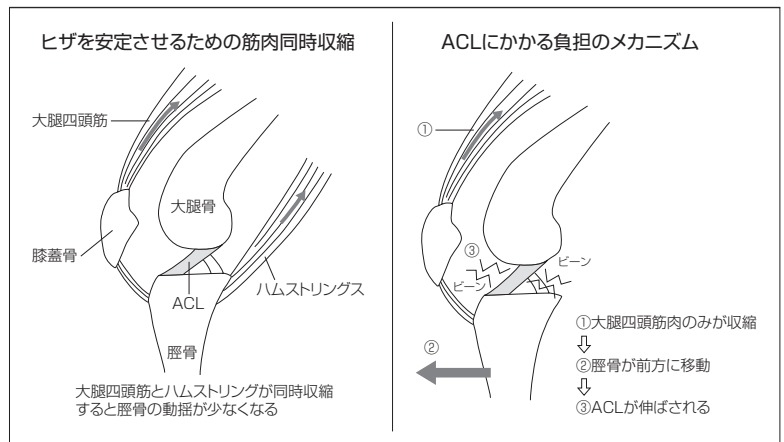


図3 ACLにかかる負荷のメカニズム

たのに、またその靭帯をとられてしまうなんて誰でも困ると思います。

**半月板について**

膝の構造の中で、もう1つ重要な組織が半月板です。半月板は、大腿骨と脛骨の間に存在し、線維軟骨で形成されています。半月板は内側半月板と外側半月板とに分かれ、内側半月板はC型、外側半月板はO型を呈しています(図4)。半月板の役割は第一に大腿骨から受ける荷重を分散して衝撃を吸収すること(いわゆるショックを吸収する作用)、第二に膝関節の荷重面積の増加による

安定性の向上、第三に潤滑の促進です(図5)。この中で一番重要な役割は、荷重を分散して衝撃を吸収することです。

膝の接触面積を調べた研究では、膝伸展位・1500Nの荷重で半月板切除前は接触面積が13.7cm<sup>2</sup>であったのに対して、半月板切除後は6.5cm<sup>2</sup>と約半減していました。このように半月板は局所の接触圧を下げ、荷重を分散する役割を果たしています。また、半月板の血行は外周3分の1程度であり、このため、損傷しても治る部分が少ないといえます。膝関節は大腿骨側の軟骨、半月板、脛骨側の軟

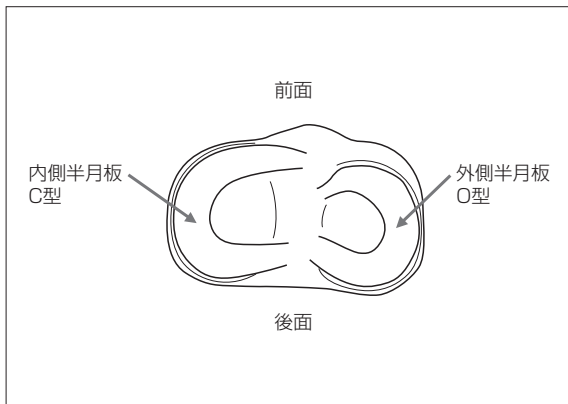


図4 半月板の解剖（上からみた図）

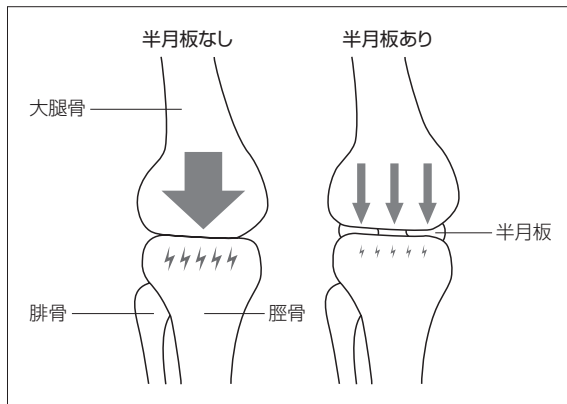


図5 半月板による荷重の分散

骨の三層構造で衝撃吸収を行っていますが、半月板を切除すると大腿骨・脛骨の軟骨に負担がかかり、軟骨損傷から変形性関節症に進行することになります。現代の医学ではACLは再建術により新たにつくり直せますが、半月板や軟骨再生はこれからの課題です（病院によっては最先端の軟骨再生医療に取り組まれているところもあります）。よっていかに半月板を温存するかが重要です。

あるプロ野球選手も半月板損傷・軟骨損傷で苦しんだ1人ですが、骨軟骨移植術を受けた後のリハビリテーションの壮絶さや苦勞を臨床スポーツ医学会で語っていました。それ以外にも多くのスポーツ選手が膝の半月板・軟骨損傷で最終的には引退

となっているケースがあります。

私の診た高校バスケットボール女子選手で、高校3年春にACL損傷し、その後大きな膝崩れ（ジャンプ着地や方向転換をすると急に「ガクッ」と膝が抜ける、脱臼感があること）がなく、本人が希望したので夏の引退時期までプレーを続けた選手がいました。引退後にACL再建術を施行しましたが、内視鏡でみると半月板はほとんど擦り切れてなくなっていました。ACLがないと、脛骨が前方脱臼する際に内側半月板が土手となって脛骨のズレを止めてくれますが、頻回の膝崩れによって内側半月板損傷も起きてしまうのです。この例からも膝崩れがなくても、ACLが消失したままバスケットボールのよ

うな競技をすることは大変リスクがあるといえます。私自身も経験していますが、膝崩れはその場合は痛くてもしばらくすると普通の状態に戻ってしまうので、それを繰り返すことによって半月板・軟骨損傷などの重篤な傷害につなが

## 2. どうやってACLは損傷するのか（受傷機転）？

ACL損傷には、大きく分けて接触型損傷と非接触型損傷の2通りあります。

(1) **接触型損傷**：第三者による外力が直接膝関節へストレスを加えて受傷することです。たとえば、ラグビーで膝にタックルを受けて受傷した場合が挙げられます。

(2) **非接触型損傷**：ジャンプ着地やストップ動作・方向転換にて自分で受傷してしまうことです。たとえば、バスケットボールでバランスを崩して片脚着地となり受傷した場合が挙げられます。

非接触型損傷はスポーツ種目によっても異なりますが、全体の約70%といわれています。受傷肢位は、着地・カッティング動作などの足部が固定した状態で急激な減速期に膝外反、膝軽度屈曲位、下腿の回旋、後方重心が多いと考えられています（図6）。このような肢位では、後方

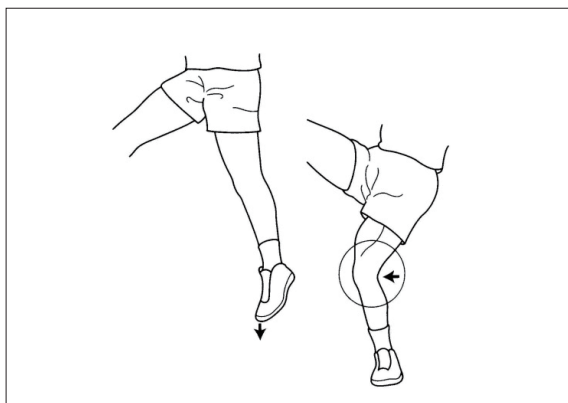


図6 ACL損傷の代表的な受傷肢位

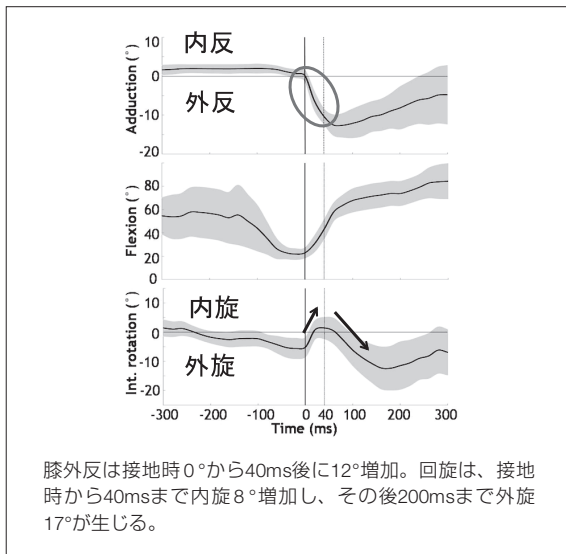


図7 ACL損傷10例の膝関節のキネマティクス

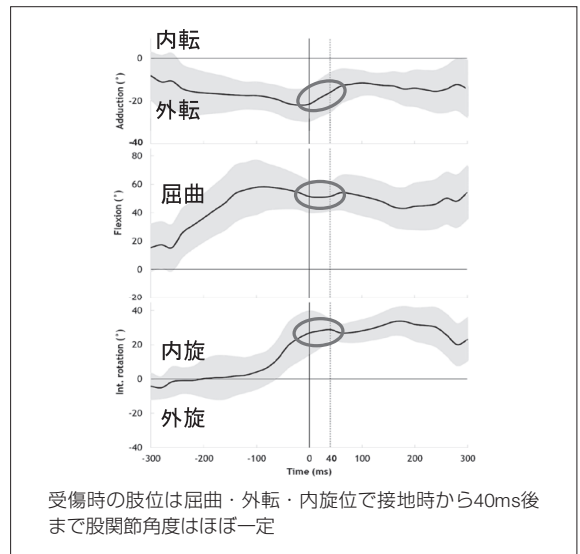


図8 ACL損傷10例の股関節のキネマティクス

重心と減速により大腿四頭筋の活動が高まり、脛骨が前方に引き出され、また膝外反と回旋によってACLにさらに高い張力がかかるとされていますが、実際の生体内でどのような張力がかかって損傷しているかは不明です。

男女の発生頻度としては、女性が高く、バスケットボール、サッカー、ハンドボールでは2～7倍といわれています。非接触型と女性が多いという点から、予防では女性の非接触型損傷を防ぐという点に注目が集まっています。

### 最新の研究での受傷メカニズム

ACL損傷の受傷機転についての研究は、質問紙によるアンケート調査、受傷場面をとらえたビデオ調査があります。アンケート調査は、簡便にできるメリットがありますが、本人の記憶に頼るため、データの信頼性に問題があります。受傷シーンのビデオ分析を発展させて、Krosshaugらは複数方向のビデオカメラで撮影した動きを三次元グラフィックソフトであるPoserを用いてmodel-based

image matching (MBIM) techniqueの手法で再現する方法を考案しました。これを用いて東京医科歯科大学の古賀先生が行った研究では、女子バスケットボールおよびハンドボールの非接触型ACL損傷の受傷シーン10例を解析しました。7例がフェイントおよびストップ動作、3例がジャンプ後の片脚着地動作でした。結論からいうと以下のような特徴がありました(図7・8)。

- (1) 膝関節はつま先接地後、0.04秒後には12°外反した。回旋については、0.04秒後に8°内旋し、その後17°外旋した。
- (2) 膝関節の急激な角度変化と最大垂直床反力の生じたタイミングより損傷は接地後約0.04秒付近で起こっていると考えられた。
- (3) 股関節は屈曲・外転・内旋位で、接地から0.04秒までほとんど動いていなかった。

古賀先生はこれらの結果から、非接触型損傷メカニズムでは膝外反が重要な役割を果たしており、内旋がそれに伴って生じるとしています。いままでいわれていた下腿外旋は、

損傷後に起きる現象だとしています。ただし、この研究に使用された動画は、50～60Hzのやや低い精度のものだったため、脛骨前方引き出しが不明でした。そこで、古賀先生らのグループは、有名なサッカー選手オーウェンのW杯でのACL損傷を解析しました。これに使われた動画は、四方向(1方向300Hz、1方向100Hz、2方向50Hz)から撮影されたものでした。その結果は、

- (1) 急激な膝外反21°と内旋21°が接地後0.03秒までに生じた。
- (2) 脛骨前方引き出しは膝最大伸展位となった接地後0.02秒に生じた。
- (3) 急激な脛骨前方引き出しは、接地後0.02～0.03秒の間で9mmに達した。

外反と内旋は10例の研究とほとんど同じであり、脛骨の前方引き出しについての詳細なデータがわかりました。これらの2つの研究結果をまとめると

- (1) ACL損傷は接地後0.03～0.04秒という極めて短時間で損傷している。
- (2) 膝外反が最大のリスクファクタ

一で、内旋が同時に起きて損傷し、損傷した後には外旋が起きる

(3) 接地から損傷まで股関節はほとんど動いていない

ということがいえると思います。

古賀先生とは昨年度2回、シンポジストとして一緒に発表させていただきました。そのときにいろいろお話を伺いましたが、1例を解析するのに2～3カ月もかかり、ここまでまとめるのに相当の時間を費やしたとおっしゃっていました。またすべての例で膝の動きのパターンがびっくりするくらい同じで、またそれだけ膝関節が大きく動いているにもかかわらず、股関節がほとんど動いていないことから、股関節の使い方に予防のポイントがあるのではないかもおっしゃっていました。これ

らの結果から、次回は予防におけるポイントについて述べていきたいと思っています。

#### 【参考文献】

- 1) 川島敏生著：筋肉・関節の動きとしくみ事典。成美堂出版。2012
- 2) 市川宣恭編集：スポーツ指導者のためのスポーツ外傷・障害。南江堂。1992
- 3) 福林徹、蒲田和芳監修：ACL損傷予防プログラムの科学的基礎。NAP。2008
- 4) 小林晶、鳥巢岳彦編集：ヴォアラ膝。南江堂。1994
- 5) 史野根生編集：膝のスポーツ障害。医学書院。1995
- 6) Koga H, Nakamae A, et al: Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and

basketball. Am J Sports Med. 38:2218-25.2010

7) Koga H, Bahr R, 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. 21:271-4.2011

#### ■メモ

スポーツ傷害予防サポートチーム  
<http://www.sipst.sakura.ne.jp/>