

1

動きをつかまえる

膝前十字靭帯損傷時、 下腿は外旋か内旋か？ ——ビデオ、MRIなどからの検討

福田 潤

藤沢湘南台病院健康スポーツ部
整形外科医

膝前十字靭帯（ACL）損傷は膝外反、下腿外旋時に起きるとい説が一般的だが、解剖学的には下腿外旋でACLはゆるむ。では、なぜ外旋時にACLが断裂すると思われるのか。実際の受傷画像とMRIによるbone bruiseの位置などの検討から、ACL単独損傷は下腿内旋で起こっていることを証明する研究を行った福田先生に、画像のみえ方と実際について聞いた。

ACLは下肢外旋で切れるか？

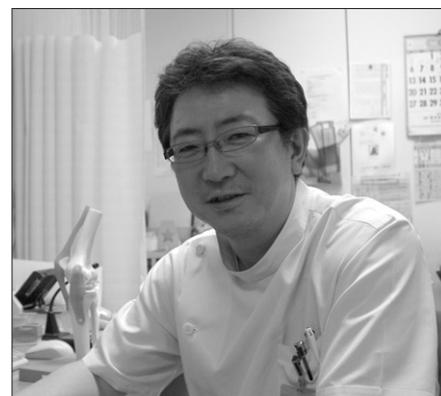
——動作分析のきっかけは？

福田：2006年に日本整形外科スポーツ医学学会にACL損傷の受傷機転について、受傷後4週以内の48症例についてまとめ、もう少し症例数を増やそうと思って2007年の33症例を追加して発表しました。詳細は後述しますが、もともとはMRIをみていておかしいなと思ったのです。有名なNoyes先生らが1980年に、ACLの受傷機転は、外反外旋、内反内旋、過伸展とし、日本でも同様に言われ、教科書にもそのように記されています。しかし、なぜ過伸展で受傷するのか、また外反外旋で受傷するだろうかと疑問に思ったのです。下腿が外旋すると、ACLはゆるむ方向に向かうのです。内旋すればACLに緊張がかかりますが、外旋してゆるむ方向に向かうのになぜ切れるのか、おかしいなと思っていました。受傷時の画像をみると、みたくは確かにそのような感じがするのですが、理論上あり得ない話なのです。

ACL損傷時のbone bruise（骨挫傷、以下BB）の位置を正確に捉えるため、ACL単独損傷のBBの位置から、受傷時の脛骨と大腿骨の内外旋を評価しました。内側側副靭帯（MCL）も損傷していると話が複雑になるので、ここでは単独損傷に限定しました。（しかし、最近わかってきたのですが、MCL損傷を合併していても同じ話だと思っています。）ACL単独損傷とMCL+ACLの合併損傷の場合では受傷機転が異なる可能性があるからです。

そこでACL単独損傷に限って、しかも受傷してから4週間以内にMRIを当院で撮っている症例だけに限って手術をした症例のなかで抽出しました。対象症例は88例で受傷からMRI撮像までの時間は平均12日。受傷からだいたい10日くらいで撮影しています。MRIでBBの部位とその組み合わせと回旋角度を検討するためです。膝関節20°屈曲位で、矢状断4mm、前額断3mmのスライス厚で撮影したMRIで再合成するとBBの位置がはっきりわかります（図1）。

また、膝の回旋確度も図2のようにして計測しました。ACLが断裂するとき、膝が強く捻じれて大腿骨と脛骨がぶつかってBBが生じる。それをMCLが切れていない症例に限って試していますから、MCLの中心からどれだけ回ったかを調べていったわけです。さらに外旋なのか内旋なのかをたどっていくと、骨のぶつかっている位置、BBの部位というのは、図3のようにいろいろとあるのですが、基本的には組み合わせ（図4）としては大腿骨外側と脛骨外側が多い。このなかで脛骨内側にBBが生じている例があり、それは何だろうというこ



ふくだ じゅん先生

現在、藤沢湘南台病院健康スポーツ部部长、LIFE健康とスポーツ研究所勤務。早稲田大学ラグビー部、横浜フリューゲルス、ラグビー日本代表などのチームドクターを務め、現在、リコーラグビー部、帝京大学ラグビー部チームドクター。日本体操協会医科学委員会スタッフ、日本オリンピック委員会強化委員なども兼務。専門はスポーツ整形外科、特に、肩・肘・膝・足関節の関節鏡手術。日本整形外科学会専門医、日本整形外科学会スポーツ認定医、日本体育協会公認スポーツドクター

とになりますが、それは次の話になるので、今は触れず、後述することにします。

要はBBは大腿骨外顆-脛骨外顆が多いわけですが、それはACL損傷時に両者がぶつかっているので当たり前なのですが、大腿骨外顆にBBがある人たちを今度は、BBが脛骨内外顆と脛骨外顆にある人に分けると、その2つで89%になります（図5）。BBがない人もいますが、その人たちは判断ができません。回旋角度を測ると88%は内旋です。下腿の内旋がだいたい平均して25°でした（図6）。

大腿骨外顆と脛骨外顆がぶつかる条件

福田：BBの組み合わせとしては、先ほど述べたように89%は大腿骨外顆と脛骨外顆がぶつかっていますが、そのための条件は何か。MCLは切れないで下腿がNoyesの

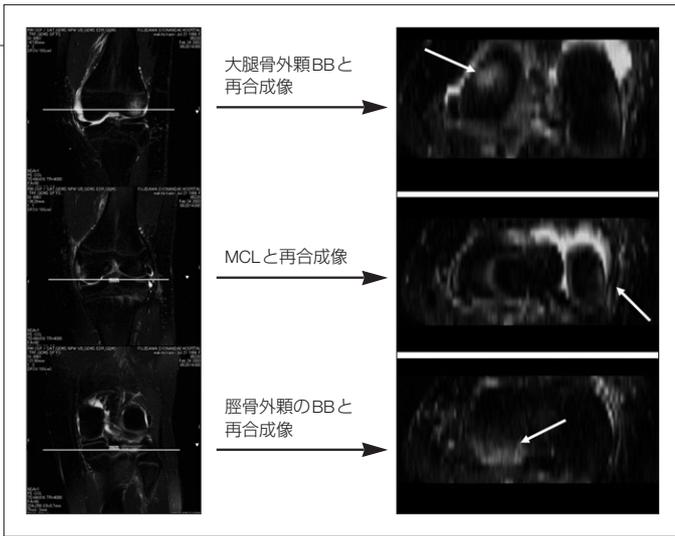


図1

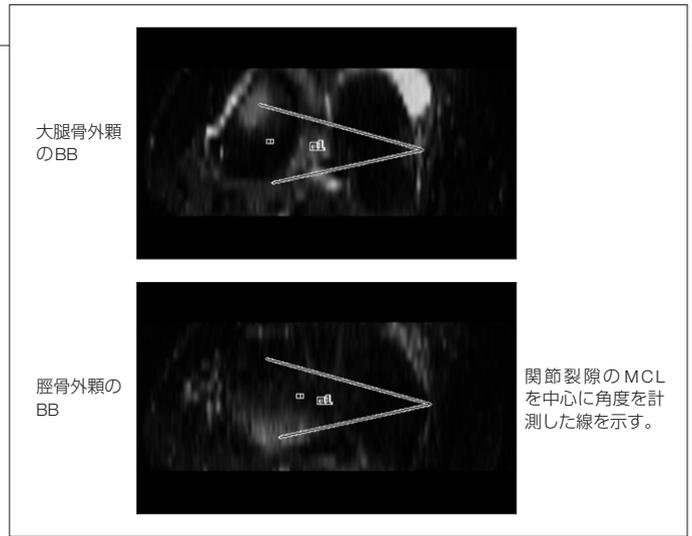


図2 回旋角度の計測

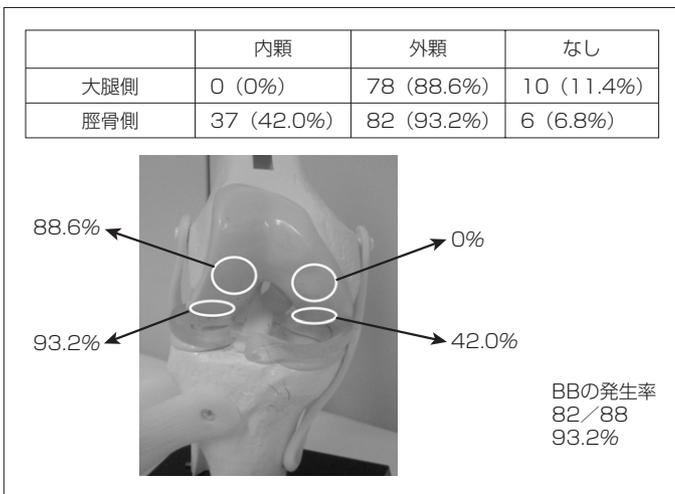


図3 BBの頻度と部位

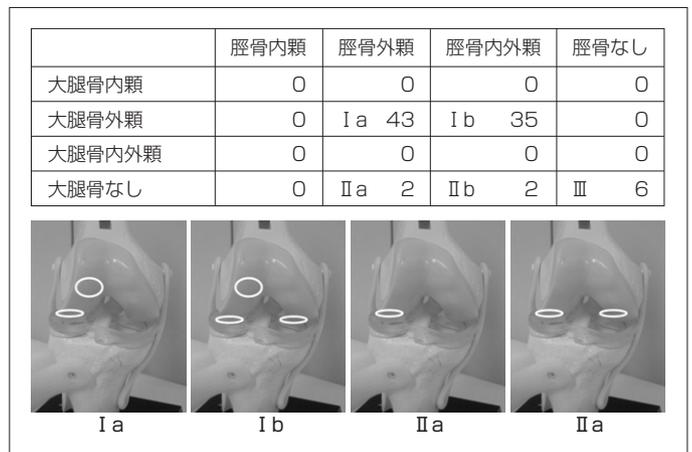


図4 BBの部位の組み合わせ-1

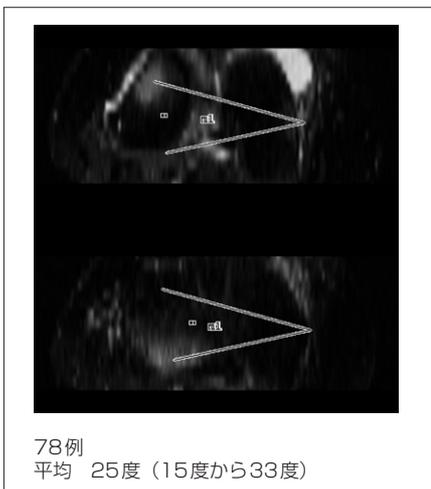


図6 回旋角度

図5 BBの部位の組み合わせ-2

1a	大腿骨外顆+脛骨外顆	43	48.9%
1b	大腿骨外顆+脛骨内外顆	35	39.8%
2a	大腿骨なし+脛骨外顆	2	2.3%
2b	大腿側なし+脛骨内外顆	2	2.3%
3...	大腿骨なし+脛骨なし	6	6.8%

言う外反外旋だとすると、大腿骨外顆と脛骨外顆がぶつかるのであれば、構造上MCLが断裂しないとぶつからないのです(図7)。もしMCLが切れていれば、外旋しながら大腿骨外顆と脛骨外顆がぶつかる

こともあり得ないことではないと思いますが。

—後十字靭帯(PCL)は？

福田：PCL+MCL+ACLといったいわゆる膝関節の脱臼は話が別です。PCLが切れている症例を混ぜてしまうと外旋もありうると思います。あり得ないことはないです。理論上は、MCL損傷もある例を除外すれば、内旋しかないのです(図8)。松本先生(1992)の文献ですが、MCLを中心に外反トルクをかけて、下腿(脛骨)を内旋させるとだいたい10°くらいでACLが切れてしまう。調べたのは全例10°以上で平均が

25°だった。確かにその角度でACLが切れています。

では、ACLはどのような位置で緊張するのかをみてみると(図9)、みな内旋位で緊張するとしています。しかし、Noyesも含め、みだ目の肢位だけで「外反外旋」だと言われている。それはおかしいでしょうということです。

なぜ、外反外旋にみえるのか？

福田：反論の証拠として、前述のように、まずBBの位置で内旋位であることは証明できるわけです。そうすると画像では受傷

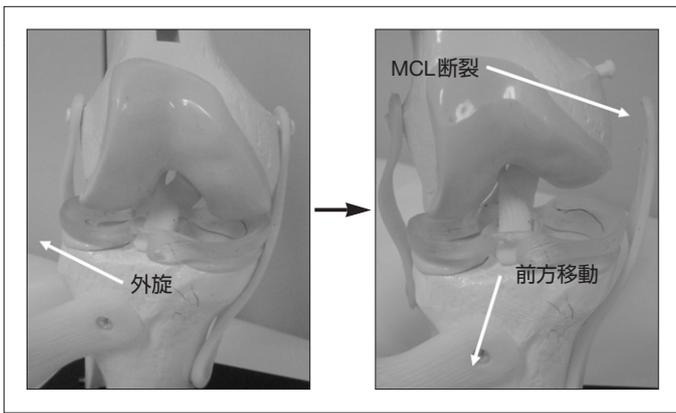


図7 下腿外旋による受傷機転

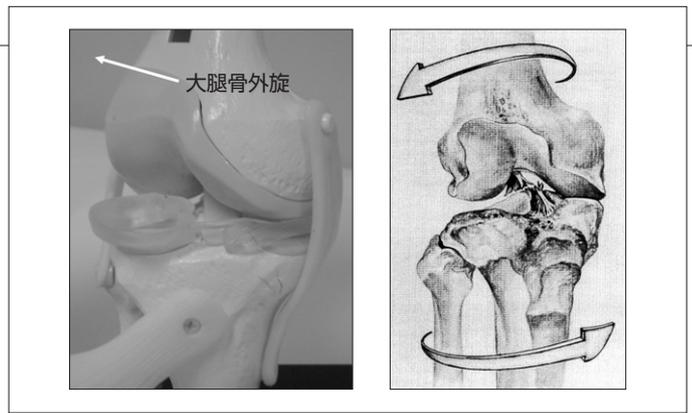


図8 下腿内旋によるACL損傷

Markolf KL et al. 1995
 内反・外反・内旋位でACLは緊張
 Fleming BC et al. 2001
 荷重下で、内反・外反・外旋より、前方・内旋の方が緊張

図9 ACLの緊張

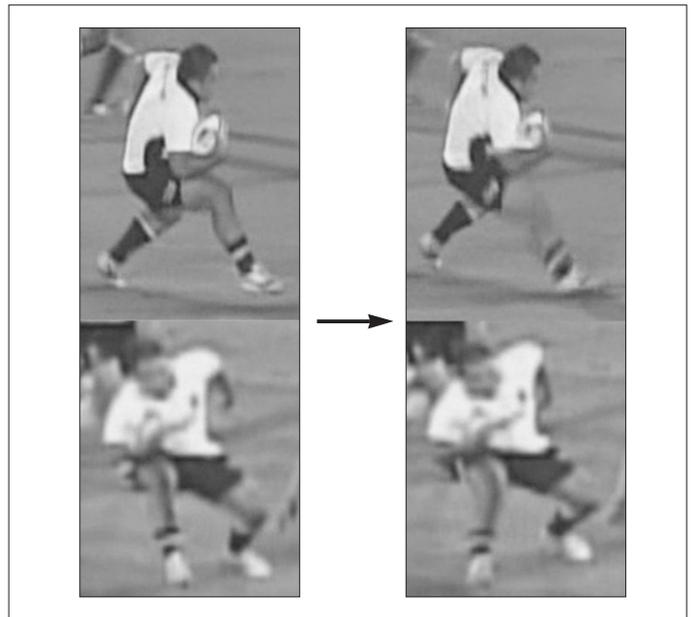
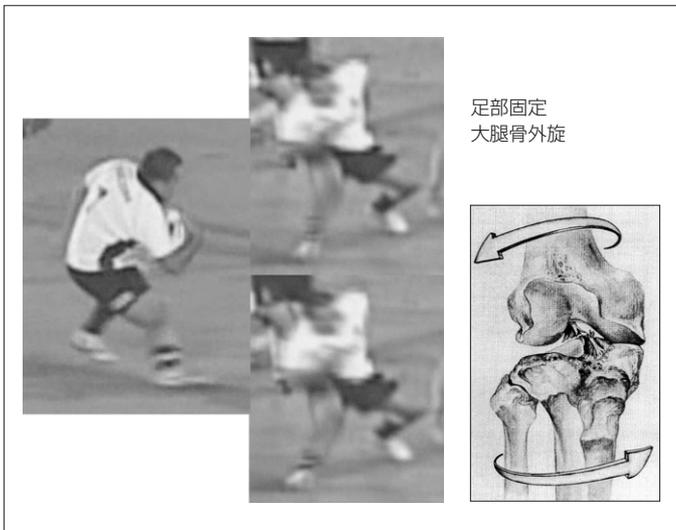


図10 ステップ前期

図11 ACL断裂

時の肢位が外反外旋にみえているのはなぜだろう、またACL損傷は外反外旋で発生するとずっと信じられているのはなぜなのだろうと思うわけです。

そこで実際の上傷シーン（動画、ここでは図10～13の連続のコマで示した）を検討してみました。まずラグビー選手の例ですが、（動画をみせながら）図11が切れた瞬間なのです。今のところを普通にみると外反外旋しているようにみえます。それをもう少し詳細にみていきましょう。

ステップを切るとき最初に足を接地する瞬間があるわけです（図10）。その接地した瞬間にプチッという感じでACLが切れています（図11）。画像をよくみると膝が

バウンドしています。前からみると接地してガクッとずれている瞬間があって、もうここで切れているのです。

ここでどうなっているかという、右足の接地の瞬間に左足が前に行きすぎている（図10）。そうすると、骨盤が右後方にもってこられるので、大腿骨が外旋しているのです。大腿骨が外旋していて足がこのくらいの位置で着いているものだから、そこでACLが断裂し、その後体勢が崩れていく。切れた瞬間は大腿骨は外旋して、下腿が真っ直ぐか少し内旋ぎみに足を着いている。その直後に脱臼している（図12）。最終的にそれが整復されるのですが、それは外旋しながら戻っているのです（図13）。

その戻っているときをみながら、外反外旋だと言っているのです。違うのです。切れた瞬間は内旋の位置なのです。そのあとに外旋しながら戻ってくるのを断裂としてみているのです。だからみている時間軸が違うというか。

——ずれている。

福田：それがもっとはっきりわかるのがサッカーのオーエン選手がACLを上傷した画像なのですが、これを見ると非常に戻ってきた瞬間がわかります（画像は割愛）。蹴って、着地した瞬間にもう切れているのです。切れたあとに外旋しながら戻っている。やはり着地した瞬間は、下腿が内旋位なのです。そこで切れているのです。この場合も、切れる瞬間は下腿内旋位なのです。

——それで、カクカクとした動きになっている。

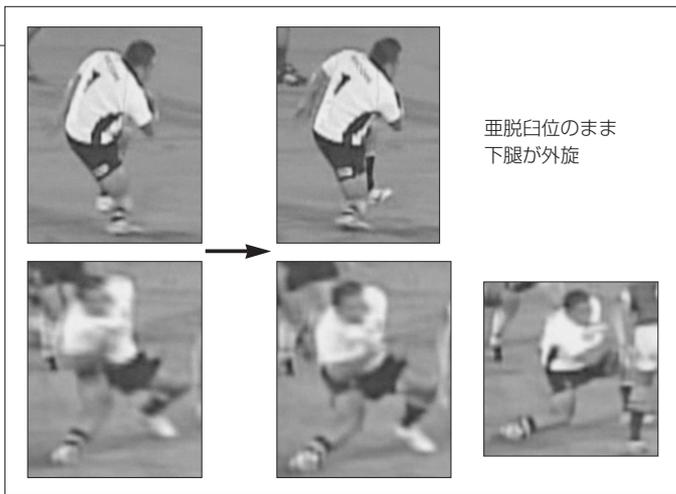


図12 亜脱臼期

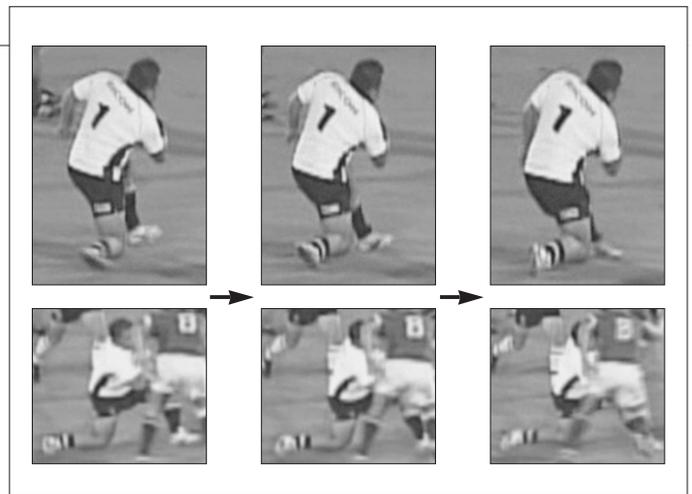


図13 亜脱臼の整備

福田：最近思うのは、この選手もそうなのですが、ステップで足を着いたときに反対足が前に行きすぎるのです。着いた瞬間のボディバランスとして普通図10で絞りを入れているのはいいのだけれども、図10で言えば、左足が前にいきすぎてしまっている。その結果骨盤が損傷膝の側に回っているから（右足ならば右回転、左足ならば左回転）、大腿骨が外旋してしまうのです。大腿骨が外旋した状態で、足部が固定されているとACLが切れる。だから、図10で右足を着いた瞬間に下腿が内旋方向にいと、そこでの踏ん張りで切れてしまう。その位置関係の問題なのです。

——それをコントロールするのはむずかしい。

福田：そうですね。しかし、そこでのボディコントロールの問題なのです。ボディバランスと言ってもよいでしょう。この選手もそうなのですが（別の画像）、最初のステップはいいのです。その次のステップがいけない。次のステップで左のACLが切れます。この瞬間、つまり右足が前にいきすぎている。次のステップで着地した瞬間に左に回されているのです。この大腿骨の外旋で切れている。これは最近のもので画像（さらに別の画像）が悪いのですが、これは右ACL断裂なのですが、着いた瞬間に切れます。ここでもう切れているのです。この選手の場合も明らかに反対足が前に着くのです。その瞬間に切れる。ちょっとしたバランスなのですが、図11と同じような位置で切れてしまう。

——でも、前に走っているのだからどうしても反対足は前に出る？

福田：そのタイミングです。彼はステップを切って、このディフェンスを振ろうと思って、左足でフェイントをかけているのです。ちゃんとディフェンスは向こうに行つてフェイントに引っかかっているのです。彼は何をしようとしたのかというと、右に行く振りをするために、左足を右のほうへ出しているのです。実際は左に行こうとしていて、受傷した右足を左に行くように接地したのです。その瞬間に切れたのです。これはステップ動作のエラーです。しかし、ステップ動作のエラーの多くは、次にどちらに行こうか迷ったときに発生しています。たとえば左に行こうと思ったけれども、ディフェンスがいるから、急遽右に変えたのです。最初の画像に出てきた選手も「どっちに行こうか迷った」と言っていましたけれど、迷っているときに、足の位置関係がずれたて起こったのがこの受傷なのです。ただ、3つめの例は自分で起こしたもので、これは本来防げるエラーだと思います。そのときにACLが断裂するために必要なことは何かというと、足が固定されているということです。足が滑ると膝にストレスはかからない。だから足部が固定されていることがまず1つの条件で、次に、大腿骨を外旋すること。

ACLに接触受傷はあるか？

福田：極端に筋力が強いと、自分の筋力だけで切れる選手もいるのですが、そうじゃ

ない場合はバランスが崩れて、からだがか受傷側の足に乗ってしまいます。それでビシッと切れる。女子のバスケットボールなどもそうですが、川野哲英先生が言っていた、ツイスティングのステップワークをしなさいというのは非常に正しいことで、足部が固定されていなければ、ACLは切れないのです。切れるはずがないのです。そうなる場合非接触受傷と接触受傷がありますが、ACL単独損傷には接触受傷などあるのだろうかという疑問が生まれます。

——そう見えるのは、たまたま接触していただけ？

福田：たまたま接触していただけだと思います。モールとかラックのなかでの接触受傷だと言われていますが、本人に、「その瞬間に踏ん張っただろう？」と聞くと「踏ん張りました」と答えます。自分で踏ん張っているのです。踏ん張った瞬間に切れる。その後に乗られているからコンタクトによるもの、接触受傷だと言われるのですが、よく聞くとそうじゃないんです。足部が固定された状態で、大腿部が外旋するように踏ん張らないと切れない。もしも接触受傷で切ろうと思ったら、足を持ってねじるとか体幹だけねじるといったことがないと切れない。でもそんな接触受傷は実際には起こらないと思います。膝の脱臼は別です。MCL、PCL、ACLとか、膝が完全に脱臼してしまうようなものは別だけれども、いわゆるACL損傷というのは、接触受傷は私はないと思っているのです。あるならみてみたいという感じです。

——接触が誘因になることはあっても…。

福田：接触が断裂の原因ではない。接触して切れているわけではなくて、足が固定されていて、自分で踏ん張って切れる。どのビデオをみてもそうです。スキーでもそうです。スキーは固定されていないようですが、雪に引っかかったとき一瞬固定されているのです。ビデオみると、先ほど述べたように、やはり反対の足が前に行きすぎている。今のところ、思っているのはそういうことなのですが、なかなか理解してもらえない。

——Noyesが外反外旋だと言ったのは、いつ切れたか、その瞬間を見誤ったということ。

福田：そうです。時間軸を間違えた。

——たしかに画像をみているとそのようにみえる。しかし、理屈から言うとおかしい。

福田：ところがおもしろいのは、放射線科の文献をみると、ACL損傷は下腿内旋と書いてあるのです。しかし、整形外科の教科書だけみるとどれも下腿外旋と書いてあるのです。事実はたしかに内旋なんです。MRIの事実と解剖学的事実からすれば内旋なのです。ACLの位置からして、内旋すればタイトですが外旋したらゆるむのです。外旋は切れる方向ではない。だから理論上おかしい。整形外科の先生は現場でみている、放射線科の先生は現場をみていない。すると整形外科の先生は現場で受傷した瞬間をみていると外反外旋だとなる。

——画像でもそうみえる。

福田：ではなぜ画像を勘違いしたのかというと、それは時間軸が違っている。切れた後の脱臼が戻る部分を外反外旋と言っている。

——選手に聞いてもいつ切れたかはわからないだろうし。

福田：選手はわかります。着いた瞬間と言います。

——そうなんですか？

福田：着いた瞬間にブチっといったと言います。

——ちゃんと選手に聞いていれば、もう少しはっきり推測できるのでは？

福田：でも着いた瞬間がビデオでみても速すぎるのです。先ほどの画像は、スーパービジョンですが、こんなきれいに前後から撮れているのはなかなかありません。通常はもっと画像が悪い。

Knee-inは悪いか？

——Noyesもこういった受傷シーンの分析から入った？

福田：冒頭で述べたように、ACLの受傷機転は、Noyesは外反外旋、内反内旋、過伸展の3つを挙げていますし、教科書的にもそうなっています。過伸展はよくわからない。ACLはねじれがないと切れない。過伸展だけでACLの単独損傷は起きないと思います。

これもよく言われていることですが、knee-inが悪いのか。knee-inが悪いと言われていますが、knee-inしないとステップは切れない。knee-inしないで動けばいいというのが間違っていて、knee-inが確かに要因になるとは思いますが、大腿骨外顆は形状として、少し傾斜がついています。実際にやってみるとわかるのですが、足部がまっすぐ前方を向いた位置で、少し膝を中に入れて、大腿骨をねじろう（外旋しよう）としてもなかなかできない（写真1）。ところが、やや膝を曲げ少しknee-inさせると、簡単にねじれる（写真2）。これなんです。これで切れる。それが膝90°屈曲位になるとまたねじれができなくなる。膝をknee-inしやすい角度に曲げて、大腿骨を外旋しようとするところでの受傷が多いのはそういうことだろうと思います。

——シューズがよくなってから膝のケガが増えたと言われる。

福田：人工芝になってACL損傷が増えたということがあります。あと女子のバスケットボールでACL損傷が多いというのは、結局ストップがかかりすぎるのです。シューズがよすぎて、止まりすぎる。

同じ人工芝でも高価でいい人工芝だと

ACL損傷は比較的少ない。人工芝の下がかなりやわらかいのです。下の素材で値段が違って、その辺にある人工芝のフットサルなどをやっているグラウンドでは安いものを使っていますから、スパイクでガツと止まった瞬間に切れてしまう。

——たしかにいい人工芝はふわふわして感触がいい。

福田：私がチームドクターをしている帝京大学ラグビー部も最初に人工芝を入れた年は半月板損傷が多く、ACL損傷も出たので、6~7年前にいい素材のものに変えたのです。それで半月板損傷は減りました。

——ACL損傷は？

福田：ACL損傷もありましたが、数が減りました。

——因果関係はかなり濃厚。

福田：かなり濃厚だと思います。

——今の話、大腿外旋とknee-inの関係については発表された？

福田：発表はしていません。ただ、knee-inすべてを犯罪者のように語られていることには抵抗を感じています。大腿骨を外旋させながらknee-inすることが悪いのであって、knee-inそのものが悪いのではないからです。「臭いものには蓋」的な発想が納得できないのです。

——それでもまだ世界的にもNoyes論が定説になっている。

福田：これはトレーナーの人も勘違いしているところだと思いますが、外反外旋ではACLは切れない。その位置で切れるのはACLではなくMCLです。だからknee-inで外反外旋させるのは、ACLを切るからよくないと言っている人がいますが、それでは切れないです。内旋にしないと切れないです。解剖学的に当然そうなのです。

——後方荷重で切れるという話もあるが？

福田：後方荷重という表現が正しいかどうかわかりませんが、見た目にはそうみえます。骨盤を無理に回旋させて、荷重を乗せると切れます。この回旋した位置が尻が落ちていのようにみえているんだと思います。ですから接地の瞬間の骨盤の向きと重

心の位置は非常に大切だと思います。

「-10から0」と「0から+10」

—今の話と逆に思っている人は多い。トレーナーだけではなく。

福田：整形外科医もそうです。ある先生が、ACL受傷シーンを供覧したことがあって、それをみて私は「みごとに下腿が内旋しているな」と思ったのです。しかし、その先生も「外反外旋だと思う」とのことでした。

前述どおり脱臼した瞬間がすでに内旋位で、それが正常の位置に戻っていく過程が外旋にみえるのであって、それは実は外旋ではなく、正常に戻るだけの話です。正常に戻る位置の過程をみただけで外旋と言っているのです。

ニュートラルが0だとすると、0の位置から外旋するのが+10だとすると内旋を-10だとすると、その先生が言っているのは0から10の話をしているのです。私が言っているのは着いた瞬間に切れているから-10から0に戻る過程なのです。だから内旋からニュートラルになるだけの話で、0から外旋していく話ではないのです。0から外旋していく過程で切れていくのではないのです。着いた瞬間にACLは切れて膝は亜脱臼していて、-10なのです。-10からだんだんだんだん正常な位置に戻ってくるまでが、外旋にみえるけれども、それは正しくは外旋ではない。

—方向としては外旋。

福田：戻っていく過程は方向としては外旋だけど、相対的な位置関係からすれば-10から0になっていく過程の話であって、断裂の瞬間ははっきり内旋している。

—そのへんが見間違点。

福田：時間軸が違っているのです。それを証明するいい例が先ほども挙げたサッカーのオーエンがACL損傷を起こしたときの画像です。着地した瞬間が内旋位で脱臼している。その後ポコッと外旋しながら戻っているのがはっきりわかります。

—それを証明するのがBBの位置。

福田：89%がその位置で10%が行方不明なだけです。BBが大腿骨側にみつからないからだけでなく、外旋で断裂するのであれば逆の位置にBBができていなければいけない。そういう例があるか調べたのですが一例もないのです。だから外旋してACLが切れている証明は一例もない。もしもあるとしたら複合靭帯損傷か膝の脱臼でないと思います。

—聞いているとクリアな話だと思うが。

福田：理論上はできているはずなのですが。時間軸をずらしながら、-10から始めて外旋しながら戻っていく過程に注目していただければわかると思うのですが。

足の固定が必須条件

—受傷機転の理解が異なると、いろいろ違ってくる。

福田：ACL損傷の予防が話題になっていますが、受傷機転が明確にわかっていない時点で予防が言えるかどうか。ただ現状では予防策として川野先生が提唱したステップ動作で踵を上げるということは、間違いなく正しく、そのエクササイズを実施しているバスケットボールのチームはたしかにACL損傷が少ないんです。やはり足部が固定されることが大事で、もちろんボディバランスでからだの膝と足と股関節と骨盤の位置関係が非常に大事なのですが、ただ足を固定させなければACLは切れない。足が固定されていることが必須条件なのです。

サッカーではそれができないのです。ボールを蹴るときもかならず踵が着いていないといけません。だからボディバランスのトレーニングをしなくてはいけなくて、そのボディバランスはどの方向にもっていったらいいのか、どういう方向にもっていったらいいのかについて、議論をしなければいけないのだと思います。しかし、その前に受傷機転を明らかにする必要がありますでしょう。そうしないと次に進まない。

—先生の説を支持する人はまだ少ない？

福田：まだほとんど理解されていないでしょう（笑）。しかし、膝をやっている同級生などは、「考えてみると当たり前の話だね」と言っています。ACLは内旋で緊張するのだから当たり前の話なのです。

—なぜ、そこから入らないのか腑に落ちないという感じですね。

福田：気がつきにくいのかもかもしれません。最近注目しているのは脛骨内顆にも脂肪抑制像での高輝度病変（H-PMT）があって、BBがあった例で、MRIで脛骨内側のBBにみえるのですが、実際には大腿骨側にkissing lesionとしてのBBがない。それは、BBではなく、後斜靭帯が引っ張ってできている損傷だと考えています。H-PMTがある症例を調べると7割以上の確率で内側半月板（MM）が切れているのです。靭帯ごと引っ張られて、MMが裂けるのでしょうか。そう思うとH-PMTをみつけた瞬間になるべく早く手術したほうが良いと考えています。可動域訓練を行ってその部分のゆるみをつくるよりも先にACLを止めてあげて可動域訓練をしないと、後斜靭帯の緩みを残す可能性が出てくる。MMを切除したACLは成績があまり成績がよくないと言われていますが、ではACLが正常で、MMを切除したらみなACLのスタビリティが悪いかということもそういうことはない。ACL損傷にともなうMMの損傷はその構成靭帯のゆるみがあるのだろうと考えられます。すると早期に手術したほうがよいのではないかと思っています。

【文献】

- 1) 福田潤：前十字靭帯損傷の受傷肢位は下腿外旋か MRIからの検討, 日本整形外科学会雑誌 (1340-8577)27巻4号, pp.423-428, 2008.06
- 2) 福田潤：前十字靭帯損傷時の脛骨後内側高輝度病変と内側半月損傷の関係. 日本整形外科学会雑誌 (1340-8577)29巻3号, pp.146-151, 2009.07
- 3) Noyes FR et al: Arthroscopy in acute traumatic hemarthrosis of the knee. Incidence of anterior cruciate tears and other injuries. J Bone Joint Surg Am, 62(5): 687-95, 1980
- 4) 松本秀男ほか: 膝関節の外科. 膝関節前外側回旋不安定性とくにpivot shiftの原因と治療法について. 別冊整形外科学別冊22:12-16, 1992.