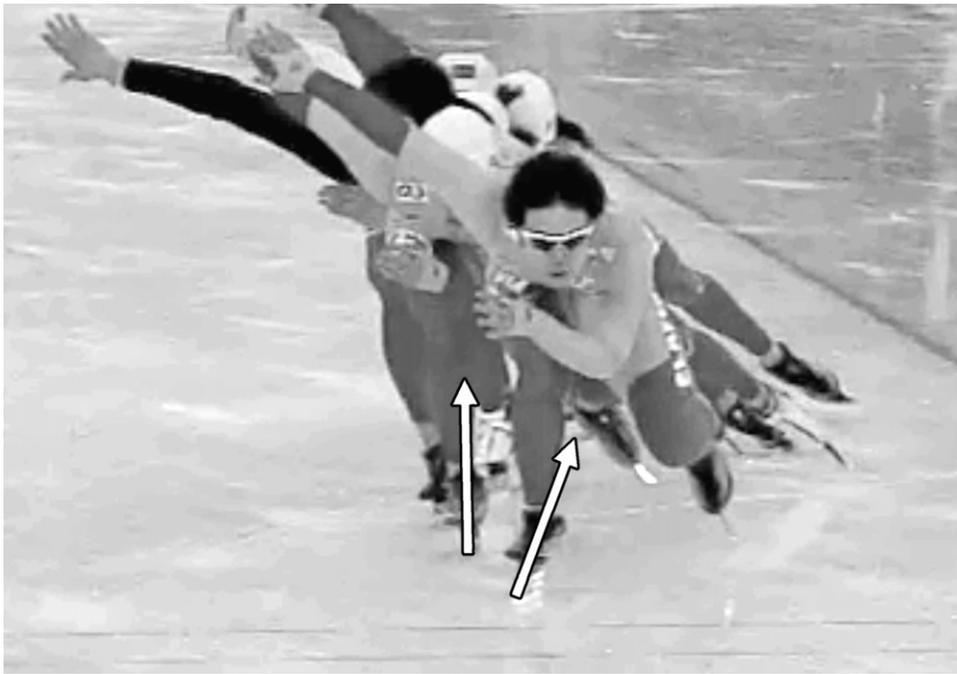


July Special

動きをつかまえる

ケガとパフォーマンス



前十字靭帯はいつ切れるか。一般的には「外反外旋」時とされているが、受傷画像の詳細な検討と bone bruise の位置、解剖学的検討などから下腿は内旋時しか ACL は単独では断裂しないという結論に達した福田先生、外傷予防プログラムのトレーニング効果を動作解析によって検討した大見先生、「誰でもできる」をコンセプトに動作分析の本のパート2を出した小島先生、そしてスピードスケートの動作分析を行い、現場にフィードバックしている湯田先生、それぞれの動作のみかた、そこからみえてくるものを語っていただいた。

1 膝前十字靭帯損傷時、下腿は外旋か内旋か？ 福田 潤 P.4

—ビデオ、MRIなどからの検討

2 膝前十字靭帯損傷予防プログラムと動作解析 大見頼一 P.10

—予防プログラムで動作はどう変わるか

3 動作分析を学び、始めるポイント 小島正義 P.18

—目のつけどころ

スポーツ科学の現場から

スピードスケートで行われている動作分析 湯田 淳 P.29

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の説が一般的だが、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は下腿外旋で切れるか？

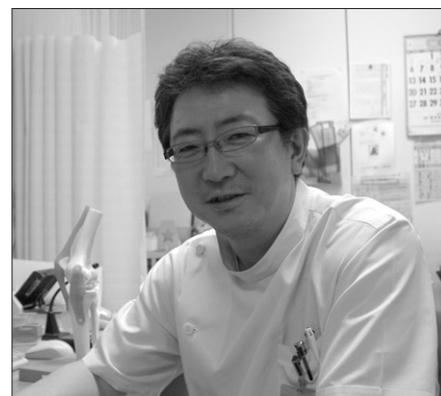
——動作分析のきっかけは？

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、膝の回旋角度も図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

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。日本体協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、とくに、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が当たり前ののですが、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、その89%は内旋です。下腿の内旋は15～33°（78例）で平均して25°でした。

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

2

動きをつかまえる

膝前十字靭帯損傷予防プログラムと動作解析

— 予防プログラムで動作はどう変わるか

大見頼一

医療法人社団こうかん会
日本鋼管病院リハビリテーション科 理学療法士
スポーツ傷害予防サポートチーム代表
保健医療学修士

選手時代に膝前十字靭帯（ACL）損傷を自ら経験し、理学療法士としてACL損傷の予防に取り組んでいる大見先生に、予防への取り組みと予防プログラム実施によって、動作の何が変化するかを検討した研究について語っていただいた。

当院の理学療法士（PT）6名と青葉さわい病院のPT 2名とで、スポーツ傷害予防サポートチームをつくり、ACL損傷予防プログラムの実施とその効果、またどの動作がどう変わったかを研究しています。予防プログラムについては、別掲欄（P.12～13）を参照していただき、まず、その予防プログラムの実施効果の研究について述べ、そのあとわれわれが行っている研究における動作解析とその結果について紹介します。

下肢外傷予防プログラムの実施効果

これは、東京女子体育大学バスケットボール選手（関東大学2部リーグ）を対象に当院のPT 尹成祚先生らと行った研究（文献2）です。

解析方法（図1）としては、介入前はどれくらいACL損傷が発生したか、また足関節捻挫についても同様に調べました。ACLに関しては非接触型損傷がどのくらいあったか、またわれわれが介入してプログラム導入2年間実施後について、介入前

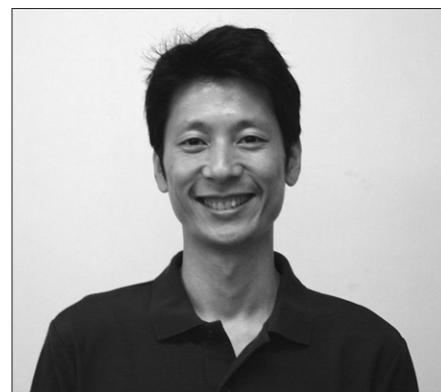
をコントロール期、介入後をトレーニング期として、どう変わったのかについて、部員数とACL損傷者数と足関節捻挫数、練習時間に関して調べました。解析方法はいくつかあり、よく用いられているのは、1000練習時間あたりの発生率ですが、その場合かなりのN数でないと有意差が出ないということがわかっていて、たぶん1000人規模になります。それほどの数は指導できないので、われわれは1000プレーヤーあたりで非接触型ACL損傷と足関節捻挫の発生率がどれくらい減少したかをみえています。

●ACL損傷（図2）

コントロール期は部員数が309名いたなかで、非接触型ACL損傷は9名。接触型が5名。2名が不明でした。トレーニング期に関しては157名に対して1名が非接触型。それを比較して、1000プレーヤーあたりでみると、コントロール期29.1名とトレーニング期6.3名で有意差があり、実際には減少したという結果です。1000練習時間当たりでもみたのですが、減少はしているものの有意差はありませんでした。

●足関節捻挫（図3）

足関節捻挫については、コントロール期が160名のうち56名発生したのに対して、トレーニング期が157名が39名。1000プレーヤーでみると350名が248名で、有意



おおみ よりかつ先生
「スポーツ傷害予防サポートチーム」のポロシャツを着て。近々、同チームのホームページも立ち上げの予定。

に減少しました。こちらは1000練習時間あたりの発生率も減少しています。

こういう結果が出たので、ACL損傷や足関節捻挫などの外傷に関しては、この規模では研究としては十分とは言えませんが、現場的には実際にケガ人が減っていて喜んでいただいています。

3次元動作解析による動作と筋力の評価

実際にACL損傷と足関節捻挫の発生率が減少したわけですが、では、プログラム実施前後でどのように動きが変わったのか。具体的には、予防プログラムのトレーニング効果として、プログラム実施前後で片脚着地動作時の運動学、運動力学的パラ

非接触型ACL損傷	介入前過去4年間（309名）	} コントロール期	①部員数 ②ACL損傷者 （接触型・非接触型・不明） ③足関節捻挫数 ④練習時間
足関節捻挫	介入前過去2年間（160名）		
非接触型ACL損傷	介入後の2年間（157名）	} トレーニング期	
足関節捻挫	介入後の2年間（157名）		

図1 解析方法

3

動きをつかまえる

動作分析を学び、始めるポイント ——目のつけどころ

小島正義

千葉・柏リハビリテーション学院
作業療法学科学科長
作業療法士

『誰でもわかる動作分析—私もこれで理解できました—』（南江堂、2008年）が好評で、今年6月その第二弾、『誰でもわかる動作分析Ⅱ』が刊行された。ここでは、とっつきにくい動作分析を日常の場面で始めるためのポイントを同書にそってわかりやすく語っていただいた。

はじめに

（小島先生によるおもな「法則」）

最初に2008年の『誰でもわかる動作分析』で紹介された小島先生による動作の法則について整理しておこう。なお、小島先生には本誌106号特集「動きのみかた」でも登場していただき、同号P.8～9で動きの法則4つについて詳細に解説していただいた。併せて参照していただきたい。以下の解説は、106号と『誰でもわかる動作分析Ⅱ』からまとめた。

①「主動部分」と「固定部分」

これは「法則」というより、みかた・考え方だが、頭部と四肢（上肢・下肢）がよく動く、動かしやすい部分で、これを「主動部分」と呼び、胸椎・腰椎・仙椎を含む骨盤、つまり体幹部分はあまり動いてはいけない・動かしにくい部分で、これを「固定部分」と呼ぶ。

②やじろべえの法則

やじろべえは左右対称でバランスがとれている。人間も左右対称で、同じように最大限倒れないようにバランスをとって

る。

第1のパターンは、バランスを崩したとき、もしくは非対称になったとき、固定部分がより強固になるパターン（図1）。主動部分と固定部分の役割が正常になされている。

第2のパターンは、バランスを崩したとき、もしくは非対称になったとき、他の主動部分が対応するパターン（図2）。主動部分が固定部分になる役割協力現象。

第3のパターンは、バランスを崩したとき、もしくは非対称になったとき、固定部分を変形させて主動部分でバランスをとろうとするパターン（図3）。主動部分と固定部分の役割逆転現象。

③動き始めの法則

動作にはその始まるポイントがある。寝返りでは、頭から動き出すパターンと、寝返る方向と逆側の腕から動き出すパターンと、寝返る方向と逆側の足から動き出すパターンがある。つまり、頭か手足（主動部分）が最初に動く。この最初に動く部分を押さえられると、その動きが始まらず、動けないということになる。

④反対の法則

継足歩行（タンデム歩行。一直線上をつま先に逆側の踵をつけるようにして歩く）で、右手と左足というように交互に出すと歩きやすいが、右手と右足というように同側を出すと歩きにくい。右手と右足を同時に出すと身体が左に回転し、一直線上を歩かにくくなる。このように、対側の「右手と左足（または左手と右足）」が互いに調整し合う関係を「反対」と表現し、身体が回転しにくくなった現象を「反対の法則」と呼ぶ。



図1 やじろべえの法則：第1のパターン（『誰でもわかる動作分析Ⅱ』より。以下写真以外の図はすべて同じ出典。図は南江堂提供）

⑤磁石の法則（仮説）

左右の関節で、お互いが同じ動きをすればお互いの運動を障害し合うが、お互いが反対の動きをすればお互いの運動をスムーズにする（詳細は本文参照）。

ほかにも「起承転結」という動きのみかたがある。たとえば立ち上がりでは、静止（バランスのとれた状態）、起（動き始めの法則で、まず頭が動く）、承1（殿部が座面から離れる）、承2（立位の状態に近くなる）、転結・静止（完全に立ち上がり、バランスがとれた状態で静止）というように動きの相を分けてみるができる。この「相」についても以下の本文で触れられる。以上の法則の詳細は2冊の書にあたっていただきたい。では、新しい本の内容を中心にインタビューしていくことにしよう。

複数の目で執筆

—『誰でもわかる動作分析Ⅱ』では先生のお考えもさらに深くなっているかと思いますが、最初の本と違うところは？

小島：今回、監修していただいた村井貞夫先生（東海リハビリテーション専門学校学

スピードスケートで行われている動作分析

湯田 淳 財団法人日本スケート連盟スピードスケート強化部委員（科学・情報担当）、日本女子体育大学

スポーツ現場ではパフォーマンス向上のためにどのように動作分析を行っているか。スピードスケートにおける動作分析を手がけるスピードスケート強化部委員、科学・情報担当の湯田 淳氏に聞いた。

スケート連盟での動作分析の取り組み

スピードスケートでは1980年代後半にトレーニングドクターだった故・根本 勇先生がオランダで行われていた動作に関する文献を紹介したり、現在国立スポーツ科学センター（JISS）にいらっしゃる平野裕一先生にも手伝っていただき、滑走動作をみてもらったり、研究者の方々と協力して映像での動作分析を行っていました。当時は2次元的分析だったのですが、1990年からスケート連盟で本格的に動作分析を導入し、当時トレーニングドクターだった結城匡啓先生（信州大学）が、3次元で詳細な分析を始めました。

現在、連盟で動作分析を手がけているスタッフは、スピードスケート強化部のなかに科学部門のスタッフとして8名が所属し、強化の予算と外部の研究助成金などを活用して科学に関する活動を行っています。この8名はバイオメカニクス、運動生理、栄養、情報戦略を専門とするスタッフで構成されていて、そのうちバイオメカニクス担当者は技術的な分析、運動生理担当者が体力的な分析を主にみえています。動作分析はバイオメカニクス領域のスタッフが担当しています。もちろん動作分析を行ううえでのビデオ撮影や実験などはスタッフ以外の人たちにも協力してもらっています。

われわれが動作分析で使用している機材は、エムウエーブ（長野）がナショナルトレーニングセンターに指定された際に、ハイスピードカメラ（株）ナック、HSV-500C[®]）を4台、つまり3次元で映像解析ができるように2セット入れて、2カ所で同時に撮影できるようにしました。



図1 世界トップ選手（先頭）は、加速時においてスケートブレードを内側に傾けるタイミングが早い（⇒プッシュにおける横方向への力の立ち上がりが早くなる）

こうした測定・分析は、スピードスケート部門のなかに3つ柱があって予算の出所はそれぞれ異なりますが、①強化部で行う事業、②JISSと協力して行う事業、③他の研究機関との研究ベースでのサポートがあります。たとえば私自身大学教員として研究を行っているものは③に入ります。それぞれの研究で得たデータは連盟内や講習会などの場で共有し、そこで得られた知見は現場の指導者や選手にフィードバックしています。

動作分析で何をみるのか

映像分析は定量的分析と定性的分析に分けて考えられます。動作分析という一般的なにはさまざまなイメージをもつわけですが、定量的分析は角度は何度とか、速度がどのくらいかといった数値で示しながら出す詳細な動作で、定性的分析（図1）は映像を加工してある意図をもって加工したもから示したり、そこからなんらかの知見を引き出すという動作分析になるのですが、これはかなりコーチング的なものに近いです。

われわれは当然両方の分析を行っていますが、定量的分析は研究ベースになりますし、定性的分析は現場でのサポートになります。どちらかだけではダメで、どちらも必要なものです。定量的分析に関しては氷上滑走動作の3次元動作分析を中心に行っています。

また、3次元的分析には、キネマティクスとキネティクスとがあります。キネマティクスというのは運動学的なパラメータで、位置や距離など力を使わないようなパラメータです。キネティクスというのは力の概念が入ってくるパラメータで、力そのものや関節の曲げ伸ばしをする力、つまり関節トルクなどがこれに当たります。3次元分析ではいろいろなパラメータが出せるのですが、キネマティクスの位置や距離は映像から出せるのですが、キネティクスは映像か

らだけでは出せずに、力を測定しなければいけないので、こちらの分析のほうが手間がかかります。図2はスティックピクチャーで当時最強だったジェレミー・ウォザースプーン選手（カナダ）のカーブの動作を分析したものです。これはカーブを滑っているときのものです、分析点となる関節の中心やそれぞれの部位の端点を線で結んで表しています。その選手の骨格というかフレームがどう動いているかがわかります。右足で押して、左足で押してという1つの左右1歩ずつを1サイクルと考えて、カーブでの1サイクル中の動作をスティックピクチャーで、上段から横・正面・上からを3次元的なデータで表現していきます。ここからいろいろな角度や速度を出していきます。このスティックピクチャーをみただけでも、トップ選手とその他の選手の滑走動作の違いがみてとれます。

たとえば、スケートは脚で氷を押すわけですから、脚に着目します。横からみたときに脛骨部分の部分角度をみていきますが、どういうタイミングで氷に力が伝えられているかが最大の関心事になります。それを推測するために下腿の角度で脛がしっかりと前に倒れているかいないかがポイントになってきます。前に倒れていればしっかりと氷に力が伝えられていて、倒れていなければ遊びがあるというかが十分に氷に伝えられていないということになります。そこらへんをストローク中の角度の変化から力の伝えられ具合を推測するのに利用しています。たとえば、このグラフ（図3）は左足を着氷した瞬間から氷を押していった離氷する瞬間を100%として、ウォザースプーン選手と他の選手を比較したものです。ウォザースプーン選手は着氷した瞬間から十分に脛が前傾しており、氷に力が伝わっていることがわかります。そして下腿の角度はそのまま変わらないのです。他の選手は着氷時に下腿の角度が立っており、そこから徐々に倒れていって氷をギューっと押し始めているので、氷を押し始めるタイミングが遅いことがわかります。このようなデータを指導者が見れば、膝の角度が違うとか姿勢が違うとかわかります。そしてその姿勢の違いはどこからくるのか、たぶん力を出す、出さないということ

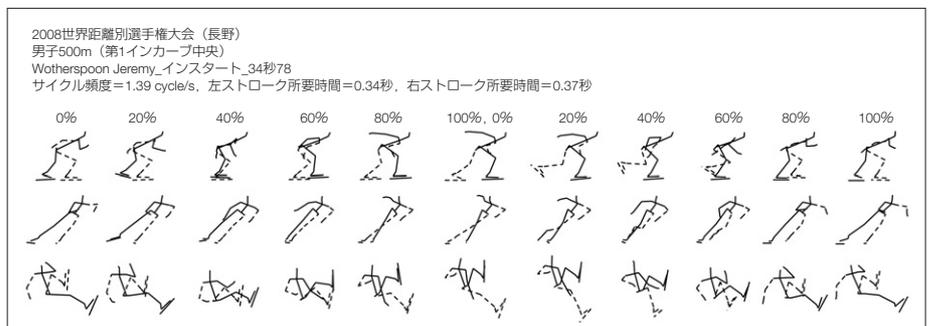


図2