

## 運動学習の視点からのエクササイズ

### アウトカムを考える

投球障害肩で痛み、悩む投手をどのようにしたらその痛み、違和感を解消させることができるか。保存治療を最優先で考えることには間違いない。少年野球からプロ野球の選手までレベルに関係なく発生する。日本の優れたマッサージや鍼灸と言った施術は世界を見渡してもトップであり、投手の投球障害肩にも応用できる。しかし抜本的な解決になるだろうか。ほか何か、別の介入を探しても良いのではないか。本場アメリカで行われている運動療法、専門的なストレッチはどうか。よく知られているウエイトトレーニングで投球障害肩の予防になるのか。ここではアウトカムから見た解決方法を話してみたいと思う。

アウトカムとは評価テストのことで、その結果から解決策を考えることである。投球動作で痛みがあり、何か良い治療、迅速かつ効率良い治療はないかを探す。瞬間的な効果性だけを求めるなら痛み止めの薬を飲めば良い。たとえばイブプロフェン配合の市販薬を飲む。アメリカのスポーツ医療現場なら常時あり、誰しものが医療専門家を通じて得ることができる。しかし根本的な解決にはならない。やはり投球すれば痛みがでるので服用の繰り返しになる。ではどこに根本的な問題があるのかを調べる必要がある。

### 投球障害肩の評価

痛みがあれば筋力も下がる。最初の投球障害肩の評価は筋力測定を行うことである。測定には徒手筋力計が必要である。専門的な測定器は高価なものである。筆者が使っているのは Lafayette 社製の Hand-Held Dynamometer (Model 01165A) で定価が 1,500 ドルである。



Lafayette 社製の Hand-Held Dynamometer (Model 01165A) \$1,500

野球を担当する医療専門家なら用意したいものだ。測定は座って腕を体側に付け、肘を曲げて肩の外旋力を測る。左右を比較するのだが、まずは非利き腕側から測定し、次に投球側を測定する。投球側が少しでも良い値がでるように学習効果を期待するためである。

## 肩関節外旋力

次に治療用ベッドにうつ伏せになり腕をベッドから出し、腕を  $90^\circ$  外転し、肘を曲げる。この時点で前腕は床に垂らした状態である。この位置で肩の外旋力を測る。腕を体側につけた外旋力よりうつ伏せで腕を  $90^\circ$  に外転した外旋力の値が大きい。理由は三角筋がより関与しているからである。また腱板の外旋筋である小円筋の関与も大きいためである。腕を体側に付けた外旋力は別の腱板の筋である棘下筋（きよっかきん）が主な関与のみである。二つの腕の位置の外旋力の差を比較し、うつ伏せで腕を  $90^\circ$  外転した外旋力の値が大きいことを確認する。次に左右差を比較する。

投球動作において三角筋後部線維と小円筋がボールリリース後の減速期に働くため、登板後は肩関節後面に張りが出てくる。一方で棘下筋は減速期には余り働かない。このことから腕を  $90^\circ$  外転した外旋力を測ることが大切になってくる。

## 僧帽筋下部線維

腱板の外旋力に加えて重要になってくるのが僧帽筋下部線維の筋力である。僧帽筋下部線維は、胸椎後半 6 つ（第 6～第 12 胸椎）から始まり、肩甲骨後面で隆起している肩甲棘の中心に付いている。腕を上げる際に僧帽筋下部線維、僧帽筋上部線維、前鋸筋の共同収縮で肩甲骨を上方に回旋させる。僧帽筋下部線維が立った時に唯一肩甲骨を後ろに傾かせる筋肉である。投手においてテイクバックから腕を  $90^\circ$  に外転させて肩関節の回旋運動を行い、ボールリリース後は肩甲骨が前に傾き、さらに内側に巻く。この習慣性動作を唯一予防できる筋肉が僧帽筋下部線維である。

僧帽筋下部線維の測定は選手を治療用ベッドの上でうつ伏せになってもらい、腕をベッド端に出して  $90^\circ$  外転してもらい、アスレティックトレーナーあるいは医療専門家は、選手に腕がベッドから浮かせるように持ち上げてもらい、徒手筋力計を肘から少し肩よりに当て押し下げる。その際、肘は曲げても伸ばしても良い。大切なことは外転  $90^\circ$  で水平外転力を測定していることである。

## 関節可動域

次にベッドに仰向けに寝てもらい肩関節の外旋と内旋の可動域を測定する。選手の腕を  $90^\circ$  に外転させ、肘を  $90^\circ$  に曲げ、腕を後ろに回旋させる。重力があるのでそのまま腕の回旋状態で外旋角度を測る。「他動」ならアスレティックトレーナーあるいは医療専門家が腕を重力に対して外旋した状態よりも少し押し下げた可動域を測定することも有効である。どちらにせよ統一して測定することが大切である。

肩関節外旋の後には、内旋角度を測る。外旋同様に仰向けに寝た選手の腕を  $90^\circ$  に外転させ、肘を  $90^\circ$  に曲げ、腕を前に回旋させる。この時肩がつられて前に傾くことになるので注意が必要である。一つの手で選手の肩の前から後ろに押さえながら、前傾していなか確認する。前傾しているなら後傾になるように押し下げ、逆の手で腕を内旋する。選手によればほとんど内旋がない場合もある。ほぼ前腕が立った状態である。

肩関節内旋角度を左右比較するのだが、非利き腕に比べ  $20^\circ$  以上の差ならば選手に投球障害肩のリスクがあることを認識してもらう。しかし左右比較した場合、投手の利き腕の肩関節外旋角度は非利き腕に比べ大きい。そこで外旋角度と内旋角度の合計で比較する。投球側の外旋と内旋角度の合計が非利き腕側の合計に比べ  $5^\circ$  以上の差ならば、先ほどの内旋角度の単独  $20^\circ$  以上の差よりも投球障害肩リスクがあることを認識してもらう。

肩関節内旋角度と相関関係にあるのが肩関節水平内転である。肩関節水平内転は先ほどの外旋と内旋角度測定と同様に仰向けに寝てもらい、腕を  $90^\circ$  外転にし、腕を選手の顔の前に交差させるようにして肩関節水平内転の角度を測る。その際に肩甲骨の外側が上がらないように手のひらで抑える必要がある。腕に傾斜角度計を当てて垂直に対しての角度を測る。スマートフォンのアプリに傾斜角度計が付いている。なければ無料でダウンロードできるのでそれを使って腕の角度を測ると良い。

利き腕側の肩関節内旋角度と水平内転角度の硬さは投手でよく見られ、二つの値に相関関係がある。登板後には肩関節後面の張りが強く、それぞれの角度は減少する。大切なことは肩関節内旋角度が肩甲骨の前傾を生んでいないかである。この確認は選手に床に寝てもらい、床から肩峰突起までの距離を測り、前傾の度合いを左右比較する。

## 肩甲骨運動異常

肩甲骨運動異常テストは視覚動的評価法で行われる。簡便な方法である。筆者は約2メートル後方からスマートフォンでビデオを撮り、のちの評価に役立たせる。選手には両方の腕を上まで上げてもらい、その後ゆっくり両方同時に下ろしてもらう。腕を下ろす中で肩甲骨の動きを観察することになる。腕の下ろし方には、横から下ろすやり方、肩甲面で下ろすやり方もあるが、私たちはまっすぐに前から下ろしてもらう。なぜなら肩甲骨の内側の突出がしやすいからである。さらに選手には2kgあるいは3kgのリストカフを両手に付けてもらう。このことでさらに突出を引き出すことができる。評価は、腕が肩の位置あたりのところつまり屈曲  $90^\circ$  あたりで突出の有無を調べる。このやり方だと大学1部でプレーする投手の半数はどこかしらの肩甲骨の突出がある。投球側の肩甲骨は突出しなかったとしても、非利き腕側に突出がある場合もある。この場合、利き腕側は習慣性投球動作に必要な筋肉を発達させていることになる。基本、投球側に突出があるかどうかを調べることになる。



大学4年生右利き投手。投球側の肩甲骨は安定している（右）。一方で非利き腕側の肩甲骨は突出がある（左）

以上、筋力測定、関節可動域、肩甲骨運動異常テストまでを痛みのある投手の投球障害肩の評価に関するアウトカムである。これらの結果から次にどのような運動をすべきかを考える。アウトカムが改善することができたなら痛みも軽減するあるいは解消することになり、投球練習を行うことができる。アウトカム改善の運動は専門的なものであるが、投球に係る運動でなければならない。極端に言えば、腕立て伏せやベンチプレスさらに懸垂などではない。投手はマウンドで投げることから「オープンキネティックチェーンエクササイズ」になる。

## 投球障害肩予防トレーニングメニュー

エビデンスに基づいた痛みの原因を調べた次は、運動を決める。運動の目的はアウトカムを改善することである。また運動は専門種目の能力スキル、この場合だと投球動作の向上に繋がるものでなければならない。筋力測定で非利き腕あるいは以前の測定値があるならそれらと比較し、運動によって筋力の向上を試みる。肩関節外旋力、うつ伏せに寝た水平外転力もオープンキネティックチェーンによって測定している。つまり腕の先端である遠位部が動いた運動である。したがってオープンキネティックの運動を行う必要がある。

### オープンキネティックリンク

投球はオープンキネティックリンクで行われている。このリンクとは肩甲骨から肩関節を通じて上腕骨へと力が伝わり、肘を通じて前腕へ力が伝わる。最終的にはボールが離れる指先に全力とエネルギーが伝わることになる。さらに動きは「むち」のように最初の近位部が最大加速に到達後、急ブレーキをかけ人が前へ飛び出るかのように次の遠位部の加速を生む。最大加速が到達したなら肘関節で急ブレーキをかけ、前腕の加速を生む。各最大加速到達と急ブレーキが次の加速を大きくする。そして腕は肩関節外旋から内旋、前腕の手のひらを上に向けた回外から回内、手首は小指側に屈曲する。腕全体が次か次へ捻じれていく動きがさらにそれぞれの体節で加速を生むことになる。これらの動きをオープンキネティックリンクと呼んでいる。したがってアウトカム改善のための運動はこの概念を抑えて考案されなければならない。

### 神経学的可塑性 (Plasticity)

筋力改善には二つの要因がある。一つは神経的要因でもう一つは筋肥大の要因である。投球障害肩予防トレーニングにおいて最初の神経的要因は起きてても、筋肥大を狙った筋力改善はほぼ起きない。なぜならこの専門的な運動負荷は中程度だからである。中程度とは、たとえば腕を上げる筋肉に三角筋がある。この三角筋の最大筋出力の40%から50%ぐらいまでを専門的運動負荷にしているためである。三角筋の筋力が大きく関与すれば上腕骨が上に押し上げられることになり、肩関節において衝突を起こしてしまう。この症候群のことを専門的にはインピンジメントと英語でも説明している。中程度の運動負荷では目に見える筋肥大は起きない。しかし神経的要因の改善こそがもっと大切になる。つまり運動学習とは神経的改善、これを神経学的可塑性 (Plasticity) と呼んで、神経回路を確立

することである。神経回路にはシナプスという神経間に隙間があり、神経伝達物質を放出し次の神経へ情報を伝達する。神経学的可塑性とはこれまでのシナプス伝達パターンを変えることである。一つだけでなく運動すべてに関与するシナプスパターンを変えることである。これこそが運動学習であり、選手は投球に必要な筋力だけでなく投球障害肩予防に必要な筋肉を投球中に活性することである。

## 運動介入効果とアウトカムの予測

専門的な運動介入の効果を予測する必要がある。予測するからこそアウトカムの効果が検証できる。極端な話であるが、先にも述べた腕立て伏せだと肩関節外旋力の向上も期待できない。また腕の屈伸では肩関節水平外転の向上もない。投球に大切な肩甲骨の外旋筋は、三角筋など腕を動かす筋肉の運動で抑えられることがよくある。僧帽筋下部線維のトレーニングも専門的知識を必要とする。たとえば懸垂のような運動で、マシンのバーを上から下に引く「ラットプル」やボート漕ぎのような「ローイング」も僧帽筋下部線維の運動にならず、腕を動かす筋肉の運動になるだけである。

## 肩関節内旋ストレッチ

多くの投手は肩関節の内旋のストレッチを好まないかもしれない。関節モビライゼーションを上手く使いながら相関関係のある肩関節の水平内転のストレッチを行い、内旋可動域の改善を試みたい。

## 僧帽筋上部線維の活性を抑える

肩甲骨運動異常テストで投球側になんらかの肩甲骨の突出がある場合、多くは僧帽筋上部線維と僧帽筋下部線維の働きの不均等からである。特に立った位置だと僧帽筋上部線維の過剰な活性で肩甲骨の回旋運動を制御していることが考えられる。この不均等の改善は容易でないが、根気よくトレーニングを積んでプラスティシティを起こしたいものだ。

## アウトカム再テストで確認

それぞれのアウトカムの改善トレーニングメニューを系統立て取り組み、トレーニング効果をアウトカム再テストで確認することが重要である。アウトカム再テストのみがトレーニングメニューの有効性があったのかを教えてくれることになる。

系統立てとは、シンプルな運動から徐々に複雑な運動へと置き換え、最終的にはキネティックリンクエクササイズを行う。最終的な運動はたとえばメディシンボールでのトレーニングになる。逆の順序ではプラスティシティを引き起こすことはできない。まずは単調な運動で選手に感覚と運動を学習してもらおうことが大切である。

アウトカムはエビデンスに基づいたテスト項目であり、つまり投球動作に関係しているため、一つの改善が相乗効果を生む。しかし実際は、投手の肩甲骨運動異常の改善はなかなか見られないかもしれ

れない。一方で関節可動域の改善は比較的早いかもしれない。つまりアウトカムの改善は比較的早い向上もあればなかなか先に進まない停滞もある。

## 潜在能力

アウトカムを改善するためのトレーニングを行いながら選手の潜在能力の開発に繋げなければならぬ。この場合の潜在能力とは投球である。痛み解消後の投球能力の開発につなげる必要がある。そのため常に俯瞰した視点からトレーニングメニュー構築を試みる必要がある。たとえば、ちょっとした投球中の全身バランス不全がキネティックリンクに影響を与えるかもしれない。腰と肩の開きのタイミングが結果的に肩の痛みに関係しているかもしれない。基礎的かもしれないが、軸足での静止から前足の踏み込み動作やコッキングから加速期間の腰と肩の分離（Hip Shoulder Separation）もアスレティックトレーナーあるいは医療専門家は学ぶ必要があり、トレーニングメニューに反映させる必要がある。これこそが投球障害肩を予防することになり、選手の潜在能力を開発することでもある。

## 代償運動の有無を確認

俯瞰したトレーニングメニュー後にも再度アウトカムのテストを行う。アウトカムは、一つのところを具体的にかつ量的に評価している。一方で投球動作に近いトレーニングになると一連の動きが複雑かつ代償運動の連続になる。必要な筋肉を活性化するというより習慣性投球動作による痛みにつながる代償運動が発生しているかもしれない。たとえば僧帽筋上部線維の強い働きなどである。肩をすぼめる動作は肩甲骨の回旋運動を妨げてしまう。否定的な代償運動の有無もアウトカム再テストで確認することができるだろう。

否定的な代償運動があるなら、その改善を行うための新しい運動メニューを構築することになる。時には最終的な位置を覚えるような運動を取り入れることも大切である。たとえば、治療用ベッドの上でうつ伏せになり、投球側の腕をベッドの端に出し、腕を90°外転にし、肘も90°に曲げ、腕をできるだけ外旋にしたところでミニメディシンボールを持ち、プライオメトリックを行う。ミニメディシンボールは0.5 kg～1 kgほどの重さの物を使い、ボールを放し、追いかけるようにしてボールを捕まえ、すぐさま水平外転で腕を引き上げる。これを15回あるいは20秒間繰り返す。うつ伏せなので、僧帽筋上部線維はさほど活性しなく、むしろ僧帽筋下部線維および肩関節外旋筋が活性している。さらに腕を後ろに向けるコッキング期の最終位置に近いので、その位置を感覚的に覚えやすい。



1 kg のミニメディシンボールでプライオメトリックエクササイズ

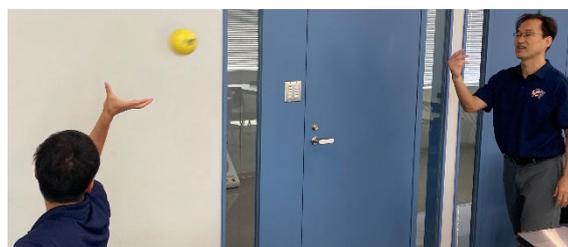
## Repetition without repetition (反復運動の変化の必要性)

投球障害肩予防トレーニングで大切なことは、いくつも異なる運動を行いながら、アウトカムを改善することである。運動学習の視点からこれを”repetition without repetition”と呼び、神経学的にプラスティシティを起こすには動きを繰り返すことで強い神経回路を作ることが大切である。よく聞く「体に覚えさせる」ことである。一方で単調な運動は飽きてしまうこともある。そのことで運動学習からだと効果半減になる。そこで運動を繰り返すことは、変化を加えながら行うことである。このことがより運動学習効果をもたらす、プレスティシティを生むことになる。”repetition without repetition”が反復運動の変化の必要性を意味している。

## 視覚と手先の正確性

運動強度が中程度だからこそ運動を正確にできる。物をつかむ、つかんだ物を投げる投球動作は視覚と手先の正確性でもある。実際の投球動作は腕の動きが速過ぎるため運動中の固有受容器からのフィードバックを脳で知覚することはできない。しかし運動後において腕の位置を思い出すことは可能である。そして次の投球動作で前回の反省を事前の予備知識として入れて行う。アウトカム改善のための運動においても同様に正確性を求めるなかで感覚運動を刺激して行うことが要になる。

アウトカムのためのエクササイズならフォロースルーエクササイズが正確性を追求する運動になる。選手が踏み込む側を片膝立ちになり、投球側の膝を床に付けた姿勢で、アスレティックトレーナーあるいは医療専門家が先ほど使ったミニメディシンボールを後方からボールリリースポイントあたりに投げ、選手はボール捕まえたならそのままフォロースルーを行う。このエクササイズは前鋸筋を活性化させる。単にボールを取る動きだけでなく、視覚と指先の連結するようなエクササイズを意識手行う。



フォロースルーエクササイズ