

Sep. 15, 2011

「捻りモデル」から考察する 新しいバッティングモデルの提案

＜力を生み出すメカニズムおよび応用についての考察＞

猪膝武之
ino@kusumoto.co.jp

本日は、発表の機会をいただきまして、ありがとうございます。今回は、2009年の第四回研究会に発表させていただきましたので、ほぼ3年前になります。もう少し頻繁に発表できればよいのですが、新規性がある内容がある程度まとめた形で発表しようと思うと、どうしても時間がかかってしまいます。

簡単な自己紹介ですが、私は、普段は楠本化成(株)という化学系のメーカーに勤めている会社員で、個人で主に野球の研究を続けております。
朝夕の通勤電車がいわば私の研究室です。

今日お話をさせていただく「捻りモデル」のひな形を最初にweb上で発表したのが1994年。その後、スポーツ方法学会、ISEA(International Sports Engineering Association)やテニス学会など、様々な機会に研究内容を発表させていただいており、かれこれ20年になります。

発表内容

- ・ 「捻りモデル」について
- ・ Batted Ball Speedの公式から見た既存モデルとの違い
- ・ 新規バッティングモデルの提案
- ・ 今後のテーマと具体的な応用についての提案

本日の発表内容です。

前回の身体知研究会での発表後は、思うところあってアメリカ野球学会(Society for American Baseball Research/SABR)での活動に力を入れておりました。発表させていただく内容は、私がSABRのweb上で展開している現在進行形の内容が中心です。

簡単に第四回研究会で発表させていただいた「捻りモデル」について説明させていただき、それから打球速度BBSを求める公式の違いから「捻りモデル」とその他既存すべてのバッティングモデルとの違いについて考察し、その後「捻りモデル」に基づいた新規のバッティングモデルを提案させていただきます。

野球のバッティングといいますと、過去に何度となくまた現在も多くの団体によって研究が進められており、目新しい内容が無いように思われがちです。

しかし私が長年研究している、いわゆる「捻りモデル」を発展させていくと、ロバート・アデア教授の「ベースボールの物理学」に代表されるような、既存のバットとボールの運動量保存側によるモデルとは違う別モデルの可能性があることがわかってきました。こうした内容についての議論です。

また折角の機会ですので、私の現在の懸案事項、いかに現場のプレーヤーへ、この研究を役だてていけるかについても提案させていただければと思います。

「捻りモデル」について

スポーツにおける股関節稼働域の影響＜第4回研究発表会＞

（研究の動機）

スポーツの才能とは何だろうか？

同じ体重、身長選手でも身体能力に差が見られるのはなぜ？（錦織、イチロー、松坂等の一流選手と他の選手あるいは一般人との違いは何だろうか？）

テニス・野球・ゴルフの例

- 選手によって打球の飛距離、投球スピードに差が見られる。練習をしたからといって同じようにできるわけではない。

「運動時の股関節の稼働域」が違うことで、力を生み出す能力に差が出るのが説明できる。

それではまず第4回研究会で発表させていただいた「捻りモデル」について簡単にご紹介し、その後に本題に入りたいと思います。
今回発表の主題ではないので、少々駆け足になりますが、ご了承ください。

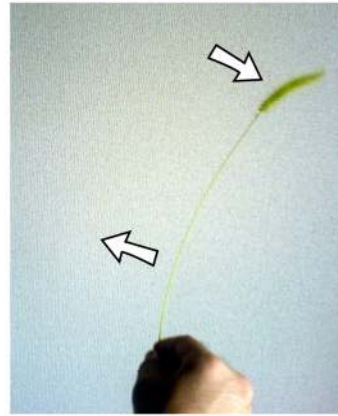
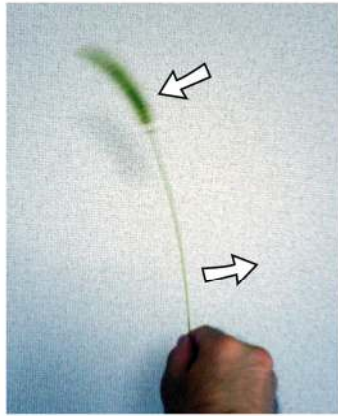
そもそも私の研究テーマは、村上豊著の「科学する野球」に触発されて、野球における才能とは具体的に何か、才能ある選手と普通の選手とでは、力学的に具体的に何が違うのかというところから始まりました。

そうした研究を通して、私なりに、力を発生させているメカニズムを説明したモデルを、実は勝手に「捻りモデル」と呼んでいるのです。もともと海外向けに書いた文書中で、既存の体の回転に起因したモデル「Rotational Model」に対して、体の捻りに起因するモデル「Twisting Model」として話を進めた経緯がありまして、この「Twisting Model」を日本語にしたというわけです。

ですから研究者の中には、内容を理解する前に「体の捻りに起因するモデルなら以前からある」などという人もいるのですが、単純な単捻りのモデルではありませんし、また後程説明しますが、既存すべてのモデルと決定的に違う内容を含んでいます。

「捻りモデル」に基づく、力を生み出すメカニズム

しならせることで力を蓄える



しなりを生むには、反対方向の力を組み合わせなければならない。

最初に、「捻りモデル」が、どのような力を生み出すかについてご説明いたします。

研究の初めのころには、投げる、打つといった野球の動作について実際のプレーなどを通して、ばくぜんと筋肉から発生するいわゆる「筋力」による力よりも、体全体をしならせてばねのような力を発生させるメカニズムがあるように思われました。

そこで、体をしならせるようなメカニズムが野球の動作にあり、かつしならせることで発生する力が、筋力よりも投げる、打つといった野球の動作の源であると想定し、動きを観察してみました。

まず「しならせて力を生み出す」にはどうすればよいかというと、写真のように方向の違う動き、ベクトルを組み合わせる必要があります。いわゆる「テンソル量」ですが、ベクトルの組み合わせによりひずみの応力が発生します。

こうした動きが実際の動作にあるか見てみましょう。

力を生み出すメカニズム

上半身の捻りと下半身の捻りを別々に使うことで、体全体のしなり(パワー)を生み出している(例1)



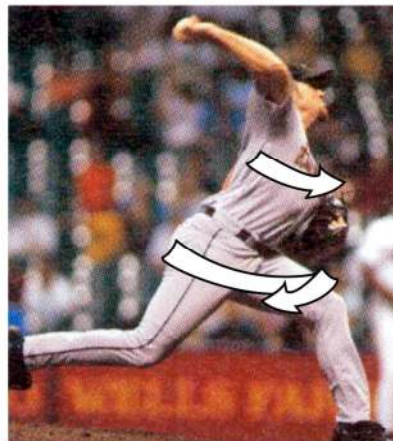
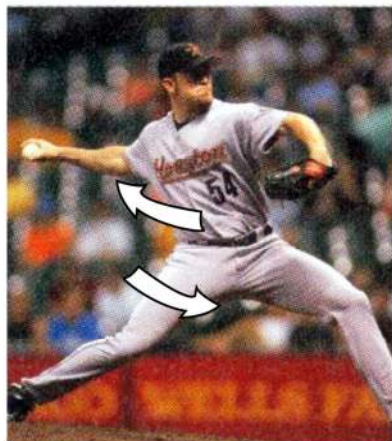
これはテニスの写真ですが、ラケットでボールを打つ動作をするときに、上半身と下半身を別々に使っていることがよくわかる写真なので、あえて最初にご紹介しています。テニスのフォアハンドでは、反対方向の動きを組み合わせることで、体をしならせてボールを打っているのがわかります。

あえて最初から「捻り」と言ってしまいましたが、まず体を捻り、その後下半身を先に動作させることで下半身に「捻り戻し」の動作を発生させます。そこにタイミングよく上半身の捻りをぶつけることで反対方向のベクトルの組み合わせを発生させることで、ひずみの応力を発生させているというわけです。

皆さんも、テニスをするときにこのような体の使い方をしていたと思い当たることはありませんか？

力を生み出すメカニズム

上半身の捻りと下半身の捻りを別々に使うことで、体全体のしなり(パワー)を生み出している(例2)



さて、野球の動作を見てみましょう。これはブラッド・リッジという速球派ピッチャーの写真です。

先程のテニスの写真と同様の視点から見ても同様に、どうも股関節を境に上半身と下半身を別々に使うことで、しならせるような力を発生させていることが見てとれますね。

力を生み出すメカニズム

上半身の捻りと下半身の捻りを別々に使うことで、体全体のしなり(パワー)を生み出している(例3)



テニスのレシーブ(例1)との基本的な違いは、手首の向きだけ！

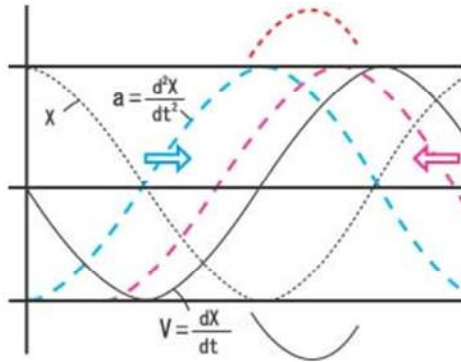
今度はバッティングの写真ですが、こちらも股関節を境に、上半身と下半身を別々に使い力を発生させていることがわかります。

パワーのあるバッターは、このようにインステップすることで、強い捻り戻しの力を発生させていると考えられます。

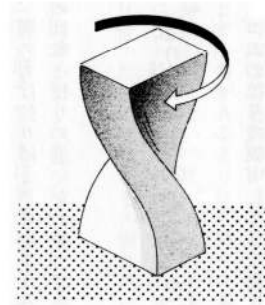
いわゆる「壁を作る」といったあいまいな表現は、こうした動作を感覚的に説明しようとしたものなのでしょう。

力を生み出すメカニズム

上半身の捻りと下半身の捻りを別々に使うことで、体全体のしなり(パワー)を生み出している事は、波の干渉で表現できる



力を生み出すのに、何故タイミングが重要なのか説明できる



捻りの力は、バネと同様に波の性質を持っている

さて先ほどから捻り捻りと言っていますが、私はこの上半身と下半身を反対方向に動かす動作は、「科学する野球」で村上豊さんが指摘されたように、体を捻ることで生み出されていると想定しました。

「科学する野球」と違う点は、右の図のような単純な捻りではなく、体を捻ることで発生させた応力で上半身と下半身で別々に動かして干渉させ、体全体に大きなひずみの応力を発生させて、投げる・打つといった動作に利用していると考えている点で、それがこの「捻りモデル」です。

捻りから生み出される力は波と同様の性質を持つことから、左の図では、左と右から来た波が干渉している様子を表そうとしております。

「捻りモデル」が正しいとすると、実際の動作の中に、こうした捻りの力が本来持つ波の性質が見られるはずです。

ですから次に、実際の動作を振り返りながら、いわば帰納的にこうしたメカニズムが動きに合っているかどうか見てみましょう。

力を生み出すメカニズム

筋力よりもタイミングが重要な要素となる(実例1)

体幹における捻りの組み合わせによって生み出される前向きの応力(テンソル量)が、バッティングに必要な力の発生源であるならば、筋肉は応力を生む素材としての性質が重要であり、直接打撃へ寄与ことは少ないはず。

筋力よりも、捻りを組み合わせる(波を干渉させる)ために「**タイミング**」がより重要な要素になるだろう。

まずタイミングについてです。

野球の動作、特に打つといった動作については、よく「タイミングが大事だ」という話を聞きます。私も実際にプレーしてみて確かにそう感じます。

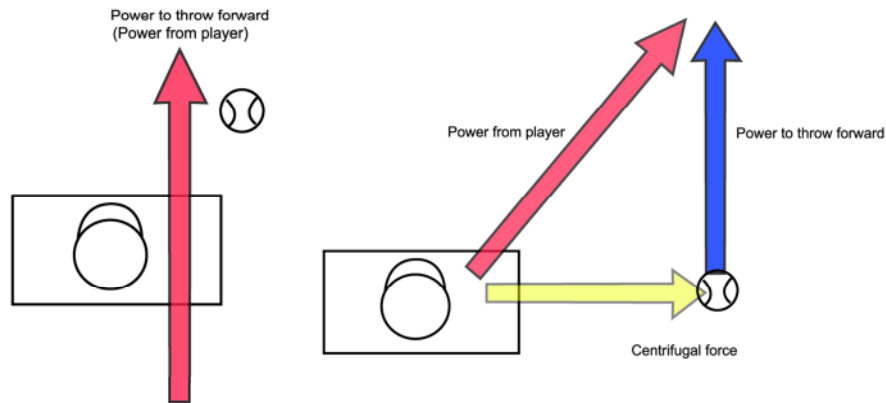
例えばRed SoxのDavid Ortizは、タイミングについてこのように述べています。

「もちろんパワーが必要なことは言うまでもない。でもそれが最も大事というわけではないんだ。僕も若い頃は勘違いをして力に頼った打撃ばかりをして失敗した。最も大事なものはタイミングなんだ。タイミングさえ合わせれば身体が小さくとも打球は飛んで行く。そのタイミングは練習でつかむしかないね。」 David Ortiz, Red Sox (バッティングの教科書、成美堂出版、2006)

捻りモデルの観点では、先ほどの図のように、捻りの力(捻りひずみの応力)が波の性質を持つことから、干渉させたり力をためたり、あるいは波からの力を最大に発揮させてプレーするため、タイミングは非常に重要な要素となります。

力を生み出すメカニズム

回転の要素は向心力を生み、前向きの力を減少させる(実例2)



サイドスローのピッチャーの球速が、オーバースローのピッチャーの球速より遅いのは、回転の要素が加わっているから

これは投球動作の例です。

一般に、オーバーハンドからサイドハンドあるいはアンダーハンドに変更すると、球のスピードは落ちると言われています。また一方で横から投げることで変化球はより曲がりやすくなる傾向が見られます。この現象を「捻りモデル」の観点から見てみましょう。

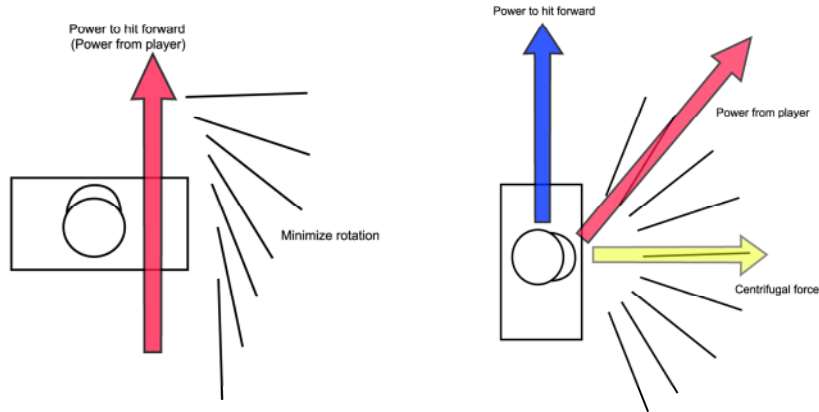
ところで「捻りモデル」から考えられる投球動作の源となる力は、曲げと捻りからくるひずみ応力で、オーバーハンドでは直線的に現れると考えられます。

これを横投げにして回転の動作を加えると向心力が発生。この向心力は、回転するスピードの二乗に比例して大きくなることから、ボールを前方に投げる力を弱めると考えられます。つまり回転させることで球のスピードはおちるのです。

一方この向心力により、ボールの指への引っかかりは強くなるので、その力はボールの回転へ寄与するはずで、変化球が鋭くなることが説明できます。

力を生み出すメカニズム

回転の要素は向心力を生み、前向きのを減少させる(例3)



コンパクトなスイングは、回転の要素(慣性モーメント)をできるだけ小さくするため

こんどはバッティングについてです。

「捻りモデル」の観点から考えると、先ほどの横手投げの例と同様に、回転の要素が加わると前に打つ力をよわめるのでバットを振ってはいけないということになります。

右のイラストのようにバットを振って(回転させ)スイングのスピードを上げれば上げる程、向心力による前方に打ち返す力を消耗してしまいパワーのロスにつながるからです。これが一般には、「大振りするな」といわれている所以だと考えられます。

体に蓄えたひずみエネルギーを前方向に最大に利用するためには、左のイラストのように、回転の要素をできるだけ小さく(回転軸への慣性モーメント)を小さくして、打撃時に体幹のひずみエネルギーの加速度(力)最大になるタイミングで、直線的にバットを打ち出す動作が良いはずです。この動作はまさにインサイドアウトスイングにあたります。いわゆる「コンパクトなスイング」ですね。

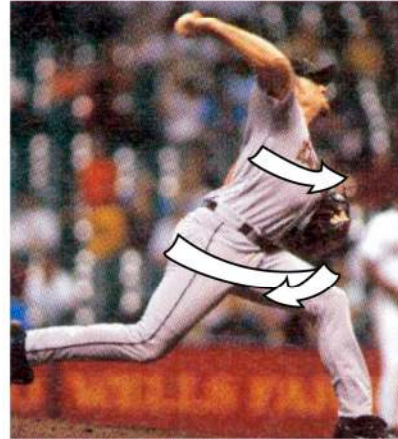
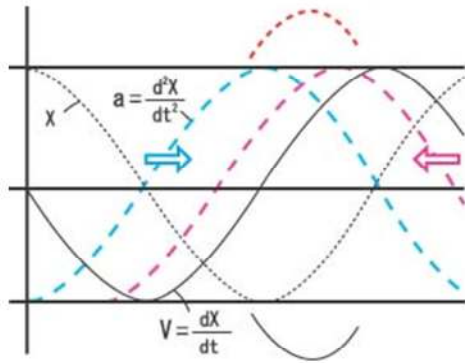
またこのように「コンパクト」にバットを振りだした場合、インパクトゾーン後に回転の要素が加わることで、バットのスピードは打者の全面あたりに現れるはずですが。これはいわゆる「フォロースルーが大きくなる」といった現象にあたると考えられます。

こうしてみると「捻りモデル」の観点からは、よく聞かれる「バットを振れ」といつつ、かつ「フォロースルーを大きくしろ」といった指導は、力学的に相いれない動作を求めていると考えられます。

幾つかの例を紹介いたしましたが、「捻りモデル」から考えられる力の現れ方は、実際に現場で指導されている手法をよく説明できることから、私は、妥当なモデルであることがいわば帰納的に検証できていると考えています。

力を生み出すメカニズム

「運動時の股関節の稼働域」が大きいほど、より大きな捻りの力を生み出すことが出来る



捻りの組み合わせにより発生した、「ひずみ」のエネルギーが、投げる・打つといった動作に利用される

改めて「捻りモデル」が発生させる「力」について一言で言うと、体に蓄えられる捻り・曲げひずみによる応力です。その力を発生させるメカニズムについてまとめてみると、

- ・ 股関節稼働域を中心に体を捻り、上半身と下半身を別々に動作させることで、各々反対方向の動きを発生させる。
- ・ 上半身と下半身を干渉させることで、体全体に大きな捻りひずみのエネルギーを発生させる。このエネルギーは波の性質を持つ。
- ・ 体全体に発生させたひずみエネルギーを利用して、前方への投げる・打つといった動作に転換していく。

「捻りモデル」においては、つまり股関節の稼働域が大きく、捻りのエネルギーをより大きく体幹に蓄える事ができるプレーヤーが、パワーを発揮できることになり、筋肉は、ひずみを蓄える素材としての硬さや柔軟性が、投げる・打つといった動作に影響を与えていることになります。

したがって「捻りモデル」における筋肉の使い方としては、力を入れずに筋肉力をできるだけ柔らかく維持した状態で捻りにかかわる動作を行って、投げる・打つ直前に力を入れて筋肉を硬くする使い方がもっとも有効と予想され、必要とされるのは硬さと柔らかさを両方備えた筋肉ということになるでしょう。（最初から硬すぎると大きく捻りにくいから）

「捻りモデル」のBBS (Batted Ball Speed)公式

$$MV + mv + \int Fdt(\text{力積分}) = P$$

M: バットの質量

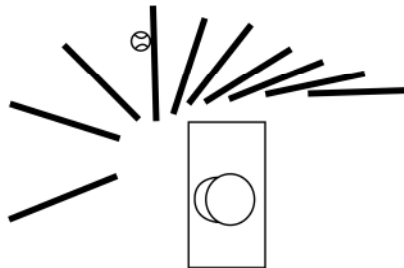
V: バットスピード

m: ボールの質量

v: ボールスピード

$\int Fdt$: 体幹からの力積分

P: 全運動量



バットスピードは、体の前面でMax

「捻りモデル」を振りかえったところで、ここから本題に入ります。「捻りモデル」による打球BBS速度の式を考えて、従来のモデルと比較してみましょう。

「捻りモデル」の力の源は、体幹からのひずみエネルギーで、かつインパクト時のバットスピードは最大ではありません。ですから打撃後の打球スピードに寄与する要因としては、大きく分けて1)ボールの運動量、2)バットの運動量および3)体幹からの力積分分の三つと考えられます。

「捻りモデル」のBBS (Batted Ball Speed)公式

$$MV + mv + \int Fdt(\text{力積分}) = MV' + mv' = P \quad ①$$

$$e = (v' - V') / \{V - (-v)\} \quad ②$$

$$V' = \{(eM - m)/(m + M)\}v + \{(1 + e)M/(m + M)\}V + \{1/(m + M)\} \int Fdt \quad ③$$

M: バットの質量

V: 打撃前バットスピード

m: ボールの質量

v: 打撃前ボールスピード

e: 反発係数

$\int Fdt$: 体幹からの力積分

P: 全運動量

V': 打撃後バットスピード

v': 打撃後ボールスピード

打球スピードは、ボールとバットの運動量＋体幹ひずみからの力積分

ボールとバットの運動量が保存され、体幹からの力積成分がすべて打撃後のボールとバットの運動量に変換されると仮定して、反発係数を使って打撃後のバットスピードを消去してみると、このような式になります。

この式は、最大のBBSを得るためにはバットのスピードだけではなく、インパクト時に体幹にどれほど力が蓄えられているかが重要な要素になりうるということを示しています。

例えば右バッターがライト方向にホームランを打てると調子が良いと言われますが、この現象を説明すると、体幹のひずみエネルギーが大きくなっている状態であれば、バットのスピードが速くなくても遠くまで打てるということだと説明できるので、体幹のひずみエネルギーが大きくなっている状態だと調子が良いということでしょう。

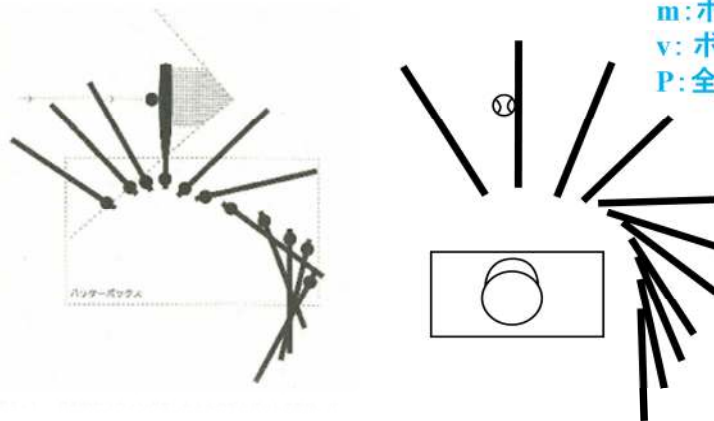
体幹からの力積成分が、打撃によってどの程度打球速度に保存されるかは議論の対象ですが、例として「捻りモデル」で打っている打者に限り、ボールを打った場合の態勢と空振りした時の態勢に大きな違いがみられることから、私はある程度力積成分は伝わっていると考えております。

「既存モデル」のBBS (Batted Ball Speed)公式

「ベースボールの物理学」(The Physics of Baseball, R. K. Adair) より

$$MV + mv = P$$

M: バットの質量
V: バットスピード
m: ボールの質量
v: ボールスピード
P: 全運動量



打つタイミングでバットスピードMax

今度は、従来のモデルによる公式を見てみましょう。現在研究されているほとんどのバッティングモデルは、下半身から先に動作させるモデル、あるいは体幹捻りの力も加わるといった一見「捻りモデル」に近いようなモデルを含めて、すべて打球スピードは、ボールとバットの運動量のみから与えられるとされています。

このように既存のモデルの理想的な状態では、筋力から、あるいは捻りによるパワーは、すべてインパクトまでにバットの運動量に転換されるとしており、その結果強い打撃をするためにはどうすればよいかというと、バットをできるだけ速く振る必要があると結論づけています。

これは捻りモデル」から導かれる結論と正反対で、大きな違いです。

「捻りモデル」と既存のほとんどすべてのモデルとの一番の違いは、まずこの点にあると思います。

「既存モデル」のBBS (Batted Ball Speed)公式

$$MV + mv = MV' + mv' = P \quad ①$$

$$e = (v' - V') / \{V - (-v)\} \quad ②$$

$$v' = \{(eM - m)/(m + M)\}v + \{(1 + e)M/(m + M)\}V \quad ③$$

M: バットの質量

V: 打撃前バットスピード

m: ボールの質量

v: 打撃前ボールスピード

e: 反発係数

P: 全運動量

V': 打撃後バットスピード

v': 打撃後ボールスピード

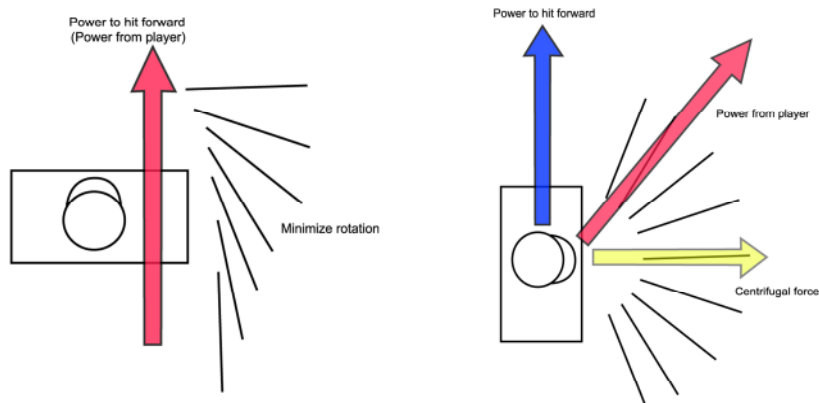
- ・打球スピードを決める因子は、ボールとバットの運動量のみ。
- ・Double torso model, Triple torso model等、ほとんどの既存研究のモデル

BBSの式を見ても、このようにボールとバットの運動量のみが現れることから、強い打撃をするためには、インパクト時にバットのスピードを最大になるように、体幹ひねり、筋力あらゆる力を持って出来るだけ速くバットを振らなければいけないことを示しています。

「既存モデル」の問題点

・振れば振るほど打てないパラドックス

回転（振る）させてバットスピードを上げるモデルであり、スピードが上がる程（振れば振る程）、向心力も大きくなり打つ力を損なう。



振れば振るほど打てなくなる。（身体知の問題発生）

しかし先ほども説明したとおり、こうした「バットを振れば振るほど打球スピードがあがる」といった結論は、「捻りモデル」から導かれる結論と正反対です。

実際のプレーにおいては、打とうとすればするほど打てなくなるという、いわば身体知上の混乱を生みだしていると原因であると考えられるので、見過ごせない問題です。

こうした身体知上の問題を解決できないために才能を十分に発揮できずに終わってしまった例は、かなりの数に上るのではないかと考えます。

私なりに、なぜこのような問題が見過ごされずにきたのかと考えると、モデルを設定したときに実際に自分で体を動かして感触を確かめてみるということを怠ってきたこと、また研究のための研究に終始して、現場にどのような応用したらよいかまで検討を進めなかったからではないかと思います。

私は、「捻りモデル」がより現実に近いと確信しておりますが、これは実際に何度もバットが黒くなるまでバッティングセンターに足を運び、これならよりパワフルに打てるということを体験しているからです。スポーツの研究については、頭で考えた理論が正しいと納得できるは、常に自ら感触を確かめることが大切だと思います。

「捻りモデル」の力積問題

・「既存モデル」から見た「捻りモデル」の問題点

実験から、力積成分はボールに伝わらない。

Dynamics of the baseball-bat collision, Alan Nathan (Univ. of Illinois), 2000

(...the momentum transferred to the ball is essentially complete by the time the elastic wave first arrives at the handle...)

Models of baseball bats, Haward Brody (Univ. of Pennsylvania), 1989

(...Grip firmness at impact time should not influence the post-impact velocity of the ball...)

本当か??? 納得いかないぞ！

そのようなわけで、私は機会があれば「捻りモデル」を説明し、BBSは力積成分も加わるはずと主張してきました。

しかし一般にはあいかわらず「力積成分は伝わらない」というのが通説で、しかも困ったことにそれは客観的な実験で裏付けられているとされています。本当でしょうか？

最初にこの問題を指摘されたのは2001年International Sports Engineering Associate (ISEA)京都会議におけるポスター発表でのことでした。次がSABRの機関紙(Baseball Research Journal)へ投稿した時です。

ここに、その根拠として、アメリカ野球学会(SABR)のScience and Baseball Committee議長 Dr. Alan Nathanから送られてきた実験報告を紹介いたします。

しかし実験事実だと言われても、実際に打ってみてあるいは観察してみても、どうしても納得できません。何かが違う。

捻りモデルの提唱者としては、この問題は、のどに刺さったとげのように、何とかして解決しなければいけない問題でありました。

今回の発表に至る経緯としては、このような背景があったわけです。

この問題を解決するために無い知恵を絞った結果が、既存モデルに対して、「捻りモデル」として新しいバッティングモデルを提案することです。実験結果と矛盾せずにBBSに力積成分が寄与するという事について、次に紹介していきたいと思います。

「捻りモデル」の単純化

M_1 : bat weight

V_1 : bat speed

X_1 : bat position

M_2 : ball weight

V_2 : ball speed

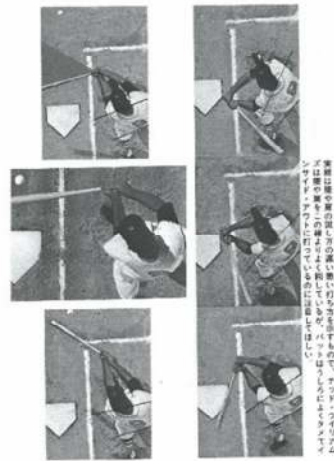
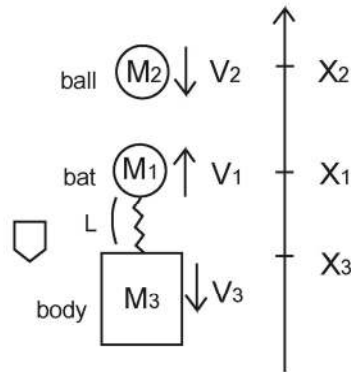
X_2 : ball position

M_3 : body weight

V_3 : body speed

X_3 : body position

L : length of spring



捻りの組み合わせにより、体幹の「捻りひずみ」のエネルギーが
「曲げひずみ」のエネルギーに転換されるモデル

私は、「捻りモデル」による理想的なバッティングを、この様に単純化して提案したいと思います。

体幹ひずみの応力をバネで表し、バネから押し出されたバットがボールと衝突するモデルで、「捻りモデル」は、インサイドアウトにバットを振りだす(軸への慣性モーメントを小さくする)ことで回転にエネルギーをとられないように打つ、また体幹中にバネと同様の性質を蓄えて打つ特徴があるため、回転の要素が入っておりません。

写真は、「科学する野球」からテッドウィリアムスのもので、上から見ると彼のバッティングは、この単純化したモデルによく合致していることがわかんと思います。

「捻りモデル」の単純化

「運動量保存則」より

A : Conservation of momentum

$$\begin{cases} M_1(dV_1/dt) = -k\Delta L & k : \text{spring constant} \\ M_2(dV_2/dt) = 0 \\ M_3(dV_3/dt) = k\Delta L \approx 0 & (V_3 \neq 0, \Delta L \neq 0) \end{cases}$$

↓

$$d/dt(M_1V_1 + M_2V_2) = -k\Delta L$$

↓

$$d/dt(M_1V_1 + M_2V_2) + k\Delta L = 0$$

↓

$$M_1V_1 + M_2V_2 + \int k\Delta L dt = M_1V_1 + M_2V_2 + \int F dt = P \text{ (momentum)}$$

M1 : bat weight

V1 : bat speed

X1 : bat position

M2 : ball weight

V2 : ball speed

X2 : ball position

M3 : body weight

V3 : body speed

X3 : body position

L : length of spring

力積成分は現れる。

このモデルに基づいて簡単な運動方程式を立てて解いてみると、力積成分が現れます。

「捻りモデル」の単純化 「運動エネルギー保存則」より

B : Conservation of kinetic-energy

$$\begin{cases} M_1(dV_1/dt) = -k\Delta L & k : \text{spring constant} \\ M_2(dV_2/dt) = 0 \\ M_3(dV_3/dt) = k\Delta L \end{cases}$$

↓

$$\begin{cases} M_1V_1(dV_1/dt) = -k\Delta L(dX_1/dt) \\ M_2V_2(dV_2/dt) = 0 \\ M_3V_3(dV_3/dt) = k\Delta L(dX_3/dt) \end{cases}$$

↓

$$\begin{cases} M_1(d(V_1^2/2)/dV_1)(dV_1/dt) = -k\Delta L(dX_1/dt) \\ M_2(d(V_2^2/2)/dV_2)(dV_2/dt) = 0 \\ M_3(d(V_3^2/2)/dV_3)(dV_3/dt) = k\Delta L(dX_3/dt) \end{cases}$$

↓

$$\begin{aligned} d/dt((MV_1^2/2) + (MV_2^2/2) + (MV_3^2/2)) &= -k\Delta L(d(X_1 - X_3)/dt) \\ &= -k\Delta L(d(X_1 - X_3)/dt) = -k\Delta L(d(X_1 - X_3 - \Delta L)/dt) \\ &= -k\Delta L(d\Delta L/dt) = -k(d(\Delta L^2/2)/dt) \end{aligned}$$

↓

$$d/dt((MV_1^2/2) + (MV_2^2/2) + (MV_3^2/2) + (d(\Delta L^2/2))) = 0$$

($V_3 = 0$)

↓

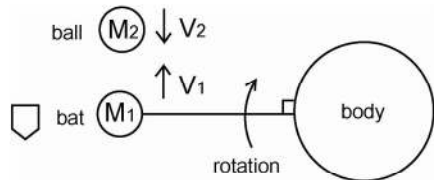
$$(MV_1^2/2) + (MV_2^2/2) + (d(\Delta L^2/2)) = E$$

**弾性エネルギーは保存する
(体幹ひずみは弾性エネルギー)**

体幹の位置はほとんど動かない条件で、運動エネルギー保存則からも見てみました。

ひずみエネルギーはポテンシャルエネルギーであることから、運動エネルギー保存則から展開すると、もちろんひずみエネルギーが式に現れます。エネルギーはスカラー量で方向は考えなくて良いため、BBSについては運動エネルギー保存則から見る方が適切かもしれません。

「既存モデル」の単純化

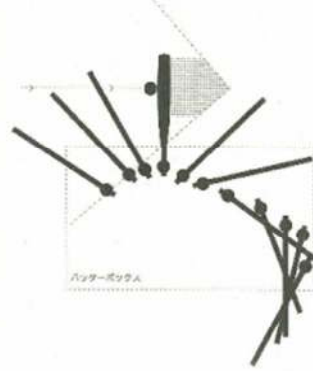


A: Conservation of momentum

$$M_1V_1 + M_2V_2 = P \text{ (momentum)}$$

B: Conservation of kinetic-energy

$$(MV_1/2) + (MV_2/2) = E \text{ (energy)}$$



筋力あるいは、体幹の捻りによるエネルギーがバットの回転による運動量(MV)に変換されるモデル。回転により加速度成分は、打撃方向に仕事をしない(直角)ため、このモデルで実験する限り、そもそも弾性エネルギーも力積成分も現れない。

打撃成分に直角でないモデルによる実験では、運動エネルギーが観測されたレポートあり。

“A New Approach for Assessing Kinematics of Torso Twist in Baseball Batting”, 2010, Y. Hirano 他

一方、既存のバッティングモデルを改めて単純にしてモデル化してみました。右のイラストは「ベースボールの物理学」からで、打撃時に角速度最大になるように回転することでバットスピードをあげるモデルだということがわかります。

さてこのように左の図のように単純化するとよくわかりますが、回転による打撃の場合、加速度(力)の方向は打撃方向に直角であり、運動エネルギーは仕事をしません。つまりこのような条件下では、どのような実験をしても、運動エネルギー成分や力積成分は現れません。

つまり力積成分が現れないのは、このような既存モデル下においてであり、特殊な条件下での結果といえるでしょう。先に紹介したAlan Nathanからの実験も、厳密な記載はありませんが、この条件下で打撃試験がなされているようです。

実際、打撃方向が直角でない条件による実験と思われるもので、運動エネルギーが観測されたとのレポートもあるようです。

Yoshitaka Morishita, Toshimasa Yanai, Yuichi Hirano, "A New Approach for Assessing Kinematics of Torso Twist in Baseball Batting: A Preliminary Report", Japan Institute of Sports Sciences, Waseda University, 2010

ここで改めて「捻りモデル」、体幹からのひずみエネルギー成分を考慮したバッティングモデルは、従来モデルよりも実際の動作にあっており、かつ理論的にも問題ないことを主張したいと思います。

「捻りモデル」から見るバッティングの身体知問題

- ・ 高く構えてダウンスwingする
→ 斜めから打つことでパワーのロス。しかもミート確率減。
- ・ 右手で打つと詰まるので、左手でリードする
→ 股関節稼働域の少ない選手にのみ当てはまる。稼働域の大きい（才能ある）選手は、むしろ右手の方がパワーに勝る。（両手で！）
- ・ バットを強く振ってフォロースルーを大きく
→ 振れば振るほど、向心力に力を取られてパワーがロス。フォロースルーを大きくするには、打つタイミングではバットのスピード小（加速度大）なので、矛盾する動作を求めている。
- ・ 欧米の方がパワーがある。
→ パワーは、物理的な違いにのみ起因する。人種に関係ない。

多くの誤解や迷信が、パフォーマンスを妨げている

さてここには「捻りモデル」から見たバッティングにおける身体知問題と思われる例を上げてみました。

パワーのロスにつながるような動作が、「常識」として通用している面があるようです。

日本の野球界においては、身体知問題の解決が急務と考えます。例えば、韓国に投打のパワーで圧倒され始めたのは、身体知問題を解決できないからで、このままでは他のアジアの国にもパワーでどんどん遅れをとるようになるでしょう。

＜今後の研究テーマ 1＞

応用と可能性について (1)

1. 才能ある選手の育成

成長期(骨盤の3つの骨がつながる前)に、腸腰筋・縫工筋のストレッチを取り入れ、運動時の股関節稼働域を確保することで、才能ある選手達を育成できる。

学校体育にプログラムを取り入れることができれば、才能ある選手をより多く養成できるだろう。

成長期に安全に「股関節稼働域」を確保できるようなプログラムとは？

ここからは、「今後の研究テーマ」として「捻りモデル」が示唆する潜在的な可能性について、お話ししたいと思います。

まずは、野球を含めた球技を中心に、「運動能力の開発」といったテーマをご紹介します。

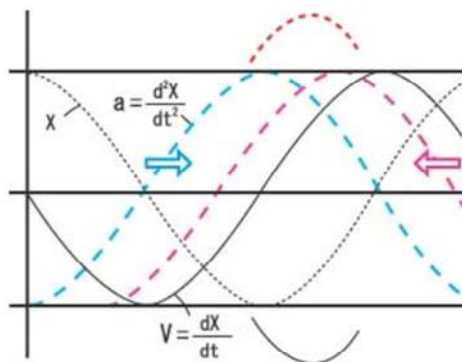
「捻りモデル」において、投げる、打つといった動作のもとになるパワーはどこから生み出されるのか振り返ってみると、股関節周りの捻りひずみを組み合わせることで発せさせる応力ということでした。つまりいわゆる「股関節稼働域」が大きければ大きいほど、投げる、打つといった動作ではパワーを生み出せるということです。

やみくもにトレーニングするのではなく、「股関節まわりの稼働域」を大きくするようなトレーニングに取り入れることで、パワーのある選手を育成できるのではないかと考えています。

このような手法を見つけることは、私の長年のテーマの一つでありましたが、最近になってだいぶ具体的になってきたので、現状の研究成果についてご紹介したいと思います。

「股関節の稼働域」とは

インステップ時に、上体がどのように動けるかに違いが出る



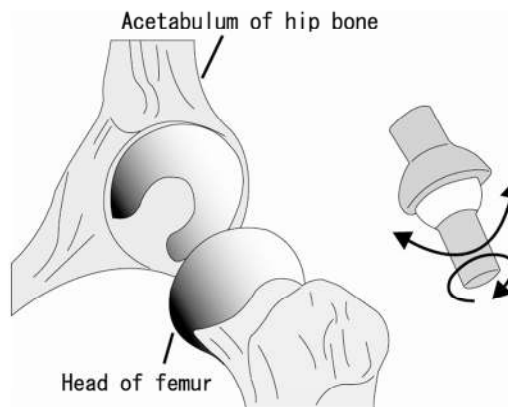
「運動時の股関節の稼働域」って何？

その前に、それではいわゆる「股関節稼働域」とは何かということについて、考えてみたいと思います。

いわゆる「股関節の稼働域」とは何のことでしょうか？

「股関節の稼働域」とは

股関節には、既に十分な稼働域がある

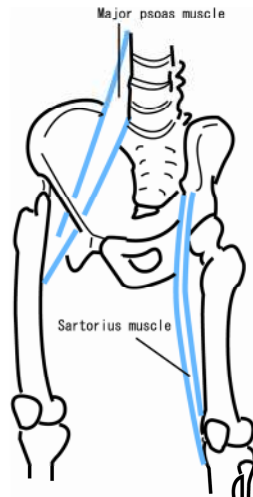


股関節の稼働域を広げるのではなく、「運動時の股関節稼働域」を制限している要素を取り除く事を考える

まずは、股関節の状態を見てください。実は股関節はこのようにカップにボールがはまるような形をしており、既にそのものには十分な稼働域があります。ですから単純に「股関節の稼働域を広げる」というのは間違いで、誤解を生む表現ではあります。

「股関節の稼働域」とは

運動時の股関節稼働域を制限するような影響を及ぼす要素とは



「イラスト解剖学より」

・骨盤（形状・大きさ）

・股関節まわりの筋肉

全体として稼働域が大きくなるようなバランスがあれば、パワーを得られると予想する

むしろ「ある特定の運動時において、股関節の稼働を制限する要素がある」というのがより正確で、投げる、打つといった動作をする上で股関節の稼働域を制限している要素としては、当然ながら股関節周辺の組織、骨盤や脊柱、筋肉といったものだろうと考えられます。

このような組織に対して、どのようなトレーニングをすれば良いのでしょうか？

筋肉はともかく骨盤などに働きかける運動は矯正体操の要素があるはずで、それは特に子供たちが練習に取り入れることを想定して「安全」といえるものでなければいけません。

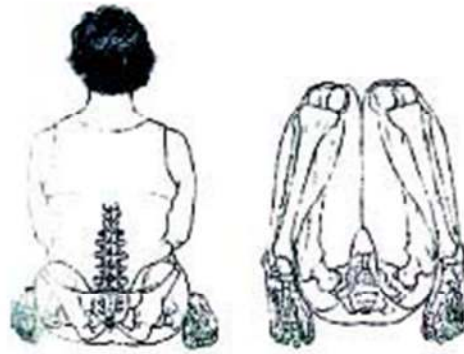
実はこれは過去10年間大きな課題でした。

以前は、私もやみくもに又割り体操などを試みていましたが、「捻りモデル」が固まって、どの動作がパワーを生むのに必要となるか理解が深まってきたこともあり、どのようなトレーニングが「股関節稼働域」を広げるのに有効か予想できるようになってまいりました。

股関節稼働域を確保するには

a. ヨガを取り入れた骨格形成法(例1)

- 幾つかのポーズは、股関節稼働域(内向き)の確保に有効
- 比較的安全に指導することが可能



The virasana pose

まずはヨガを取り入れた方法をご紹介します。

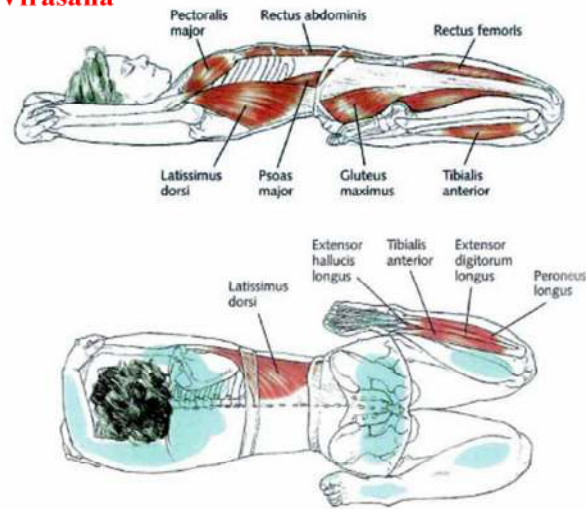
欧米では、ヨガのポーズをした時に、解剖学的にどのような動きをしているかの研究が進んでおり、そういった研究は非常に参考になりました。

レスリー・カミノフのヨガ・アナトミーから、例えばこのポーズは、股関節まわり内向きの力を生むので、いわゆる「股関節周りの稼働域」を広げるのに効果があると思います。

股関節稼動域を確保するには

a. ヨガを取り入れた骨格形成法(例2)

Supta Virasana

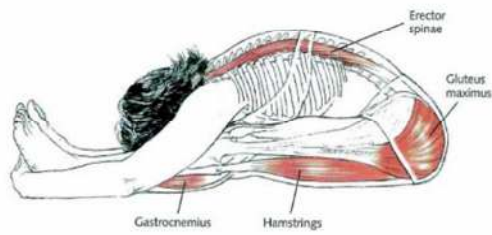


こちらもレスリー・カミノフのヨガ・アナトミーからです。膝に負担がかかる旨の注意が記載されていますが、股関節内向きの捻りが加わる動作です。

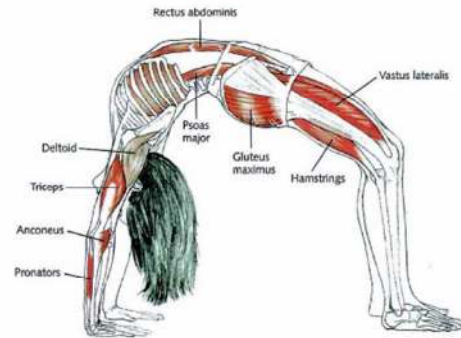
股関節稼働域を確保するには

a. ヨガを取り入れた骨格形成法(例3)

Paschimottanasana



Urdhva Dhanurasana



股関節稼働域(内向き)を確保する運動は、骨盤内から外向きの応力が発生していると思われる。骨盤の大きさ・形状により稼働域は変わってくると予想。

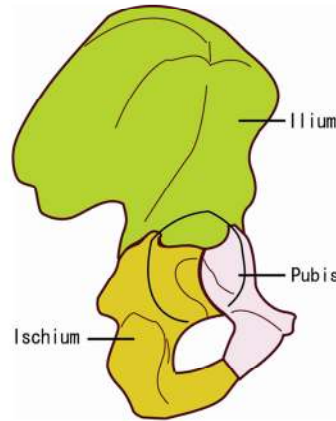
私は、右のアーチのポーズも、体幹を伸ばすだけでなく両股関節周り内向き捻りの力が緩やかに働くと考えております。

前屈は、アーチのポーズとのバランスをとる意味でも組み合わせると良いと思います。

ヨガは、体全体で股関節内向きの力を加えて、穏やかに稼働域を大きくしていこうというやり方です。

股関節稼動域を確保するには

骨盤は、だいたい23才までに3つの骨が繋がって1つになる



運動能力(野球)のポテンシャルは、成長期の骨盤形成時に決まると思われる

ここで股関節の次に骨盤を見てみましょう。「捻りモデル」では、骨盤内部で両股関節周りの捻りエネルギーが干渉するモデルなので、

大きく横に広がった骨盤は、体幹中に干渉させるひずみエネルギーのキャパシティが大きくなることから、野球動作に必要なパワーを生むと予想します。

スカウトはよく選手の尻の大きさを見て有望かどうか判断するといいますが、「捻りモデル」からは理にかなっていると思われます。

ではその骨盤の大きさはどの様にして決まるのかというと、このように成長期まで(股関節中心に)三つに分かれている骨が最終的につながって一つの骨盤になります。

もし成長期における骨盤の内側から外側に力を加えるような矯正体操があれば、大きな骨盤の成長に役立つでしょう。

それではどのようにすれば、骨盤の内側から外側に力を加えることができるのでしょうか？

股関節稼動域を確保するには

b. 器具を取り入れた骨格形成法(例1)



大腿骨下部を押さえつつ、真横に外向きに力を加えると、股関節周りに外向き、骨盤を広げる方向にモーメントが発生。

例えば、これは骨盤に対してより直接的なバンドを使った例ですが、膝上を固定して太ももから左右外向きに力を加える(せん断力を与える)と、実は股関節周りに骨盤内部から外向きのモーメントが発生します。

このモーメントは、骨盤を内から外に向かって広げようとするので、大きな骨盤の形成に役立つと予想します。

股関節稼動域を確保するには

b. 器具を取り入れた骨格形成法(例2)



大腿骨下部に挟む力を加えると、股関節周りに内向き、骨盤を広げる方向にモーメントが発生。

同様に膝上に何かをはさむように力を加えると、今度は逆向きのモーメントが骨盤を広げることが予想され、大きな骨盤の形成に役立つと予想します。

股関節稼働域を確保するには

b. 器具を取り入れた骨格形成法(例3)



開脚・閉脚時に負荷をかけることで、股関節まわりにモーメントが発生。



より寝た姿勢の方が、骨盤全体に、関節周りのモーメントからの負荷がかかり、股関節可動域の広い骨盤形成に寄与すると思われる

成長期に使用することで、より安全に、股関節稼働域の大きい骨格形成、運動能力の開発に役立つと思われる

器具を使い、似たようなモーメントを発生させられることも可能でしょう。成長期に適切に用いることで、野球の能力の開発に役立つと考えます。

左図のジムマシーンは、仰向けになれば股関節周りに発生するモーメントが骨盤に働くと思います。しかし座位では効果が薄れてしまうでしょう。

右図のように仰向けで動作することで、股関節周りのモーメントは骨盤全体に負荷をかけ、野球に必要な股関節可動域の確保に役立つでしょう。

股関節稼働域を確保するには

b. 器具を取り入れた骨格形成法(例4)



太ももで挟んで座ることで、股関節周りに骨盤を広げる方向にモーメントを発生させる

成長期に使用することで、より安全に、股関節稼働域の大きい骨格形成、運動能力の開発に役立つと思われる

乗馬運動の機器も太ももで挟み込むことでモーメントが発生しますが、効果をあげるためには椅子の形や座り方を工夫した方が良いと思います。

乗馬マシンは、ダイエット器具として販売されているようですが、ダイエットというよりも矯正器具の性質が強いと思うので、たとえば姿勢やスタイルをよくする骨盤形成などの美容目的で、成長期の子供向け商品が開発できればよいと思います。

股関節稼動域を確保するには

舟の櫓を漕ぐことで、「下半身を鍛えた」と言われる稲尾投手(例)



成長期におけるこのような動作は、股関節周りに骨盤を拡げる方向のモーメントを生む矯正体操として働き、「股関節可動域」を拡げたものと思われる

これは、このような矯正体操が働いたと思われる一つの例ですが、鉄腕といわれた稲尾投手は漁師になることを期待され、幼少のころから父親に櫓を仕込まれたことで下半身を鍛えたといわれています。「捻りモデル」の観点からは、こうした櫓をこぐ動作は、股関節周りに内から外方向のモーメントを発生させることから、大きな骨盤や広い股関節可動域が形成され野球の才能が育まれたと説明できます。

私は、スポーツ特に野球における才能は、日常生活ではなかなか要求されないような「股関節内向きの捻り動作」や「骨盤を内から外に広げるモーメント」を、いかに成長期に発生させたかによるものと考えています。

遺伝によって比較的野球に適した骨格を授かっている例も考えられなくもないですが、わたしの考えでは、日常生活においては、「骨盤や股関節可動域を狭める」矯正体操にあたる動作、(例えば背中を丸めて座る動作)も発生しているため、結果としてどれほど才能が現れるかは、広める動作と狭める動作のトレードオフになり、親が才能があったとしても必ずしも子供に才能が現れるというわけではないと思います。野球の才能は、現在のところ遺伝も含めてほとんど偶然により与えられた環境に依ると考えています。

したがって意図して「股関節内向きの捻り動作」や「骨盤を内から外に広げるモーメント」を練習に取り入れ、かつ「骨盤や股関節可動域を狭める」矯正動作を避けることができれば、選手の育成に役立てることができるとでしょう。

私は、こうした可能性についてフィールドワークを行いたく、もし大学などのアマチュアのチームで、「捻りモデル」に納得した上で、仰向けに改良したジムマシンなどを用いて成果を試してみたいと考えるチームはないでしょうか。個人的な経験では、少なくともバッティングについては大いに変わると思います。

そこで例えば東京大学野球部がこうした手法をトレーニングに問い入れることで、早稲田や慶応のチームをパワーで圧倒するようになったら面白いとおもうのですが。私は可能だと思っているのです。

練習方法および効果の判定： 特定の運動を適時行い、投球(あるいは打球)、短距離走についての変化を測定する。

・前頁のジムマシンの背もたれを倒したもので開脚・閉脚運動行う

・Supta Virasana を行う

(いずれも、どの期間、どの程度の負荷で、どのくらいの頻度で行うかの最適化が必要)

＜今後の研究テーマ 2＞

応用と可能性について (2)

2. 選手生命の延長

年齢を重ねることで力の衰えが見られる選手は、骨盤の形状ではなく、腸腰筋・縫工筋等の股関節の稼働域に影響を与える筋肉のストレッチを行うことで、パフォーマンスの維持に役立つと思われる。

3. 膝・腰痛のリハビリテーション

スポーツにおいて、運動時の股関節稼働域が十分でなくなることで、膝や腰を痛める例が多くあると考える。
前述紹介の膝上を固定したストレッチが、再発防止に有効と思われる。

(Field Workの必要性)

現役あるいは引退直後の選手など、このような問題を抱えており股関節稼働域を確保する方法に興味のある方をご存知でしたら紹介をお願いします。(客観的なデータを採取することが可能)

「捻りモデル」は、選手の育成だけではなく、既に実際にプレーしている選手たちに対しても、意味のある応用を展開できると思います。

例えば前述の**Supta Virasana**を日々の練習に取り入れ、股関節周りの可動域を維持することで、疲労や加齢からくるパフォーマンスの衰えを防ぎ、選手生命の延長につながるでしょう。

また股関節周りの可動域が狭まることに起因すると思われる故障(肩、ひじ、特に膝)を防ぐ、あるいは故障の再発を防ぐことに寄与するでしょう。

＜今後の研究テーマ 3＞

股関節稼働域の違いからくる肉体への影響

近眼の防止-(前述の体操は、近眼の防止に効果があると予想)

近視者には、共通の肉体的特徴(猫背、背骨や首の歪み。肩こり。)が見受けられる。

私が考える近眼発生のメカニズム (成長期における環境によると考える)

- 1) 長時間椅子に座るなどの姿勢を続けることで、骨盤周りの筋肉の状態に引きずられるように骨盤の形状に全体的な歪みが発生。
- 2) 骨盤の歪みから、膝－股関節－骨盤で形成している上体を支える構造に「転換」が起こり猫背になる。
- 3) 猫背は首の湾曲を生み、頭部を直接さえるのに力学的に弱い状態が発生。首周りの筋肉で頭部を支えるため肩こりなどの緊張が生まれる。その結果;
a) 眼球を支える筋肉群、視神経に影響を与え、物理的に眼球が前後に引き伸ばされる or
b) 焦点を合わせる働きをする筋肉群が、力学的に支えを失うために焦点を合わせられなくなる。

股関節稼働域の違いが、物理的に姿勢や臓器にどのような影響を与えるのか、研究を深めていく必要がある

最後になりますが、野球関係以外のテーマをご紹介します。

私は、成長期において特に骨盤の状態が、股関節稼働域を広げるような形になるかどうかで、姿勢の良し悪しに影響がでるのではないかと考えております。

具体的には、日常生活において骨盤内部から外部へモーメントがかかる動作はあまりなく、一方で長時間前かがみで机に座る、本を読むと言った動作からくる特定の負荷が骨盤の形を歪め、猫背や腰痛、近眼といった悪影響の原因が、成長期に発生しているのではないかとことです。

成長期における股関節周辺の稼働域を確保したり、骨盤の形を正常に保つことで、様々な生活習慣病を防ぐことができると予想しています。

欧米の例ですが、乗馬による姿勢の矯正療法などは、まさに股関節周りにモーメントを発生させることで、骨盤形状を整える方法を経験的に行っているのでしょう。

今後の研究方法としては、材料力学の手法を取り入れて、とりあえず人体あるいは骨格のモデル化とコンピューターによる簡易的な予想が可能のように思われますが、まったく私の専門ではないので、一から積み上げていくしかなく、非常に時間がかかると思われます。

正直なところ、私はそれほど頭もよくなく工学的知識も少ないので、できれば専門の知識をお持ちの方にご協力いただければと思います。

もしこうしたテーマにご興味いただける医学あるいは工学関係の方がいましたら、是非ご紹介いただきたくお願いいたします。

ご静聴、ありがとうございました