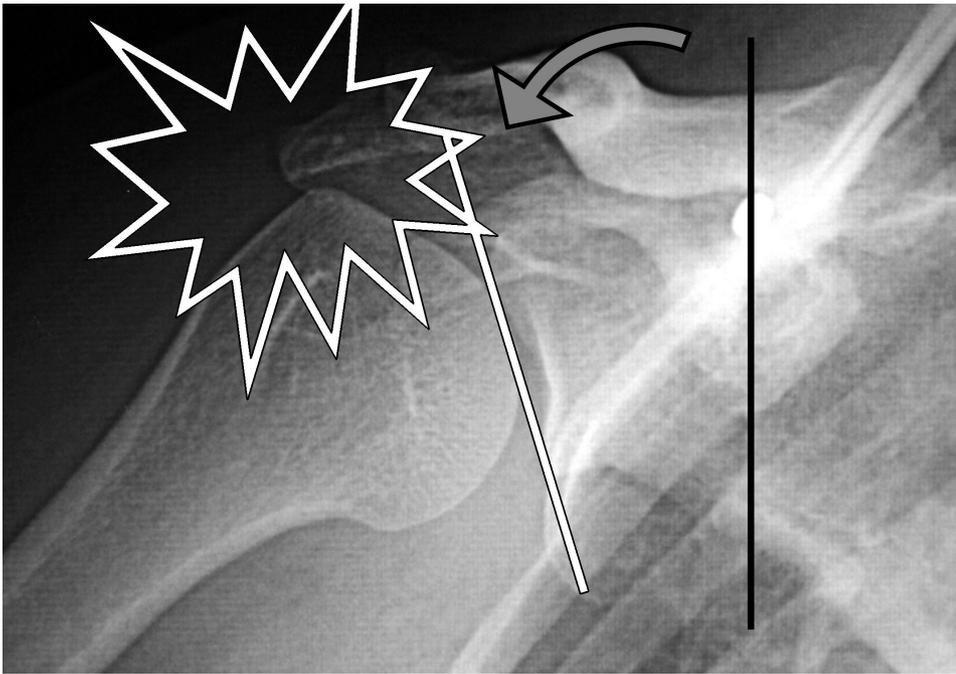


April Special

動く肩甲骨をとらえる！

理学療法とバイオメカニクスからのアプローチ



肩甲骨は胸郭と皮膚の間にある特殊な骨。いわばからだの上に乗って、いろいろな方向に動く。その肩甲骨は皮膚の下で動くので、皮膚にマーカーを貼っても実際の位置からずれてしまう。そのため、肩甲骨の動きはわかっているようでわからないことも多い。今月の特集では、その肩甲骨と全身運動について、藤が丘リハビリテーション病院の理学療法士、千葉慎一先生と信原病院・バイオメカニクス研究所の田中洋先生に、それぞれの分野からのアプローチを詳細に聞いた。両先生とも多数の図や動画を使用されたが、誌面の都合上割愛したものも多い。しかし、全体で68点の図を収録した。

1 肩甲胸郭関節に着目した肩関節の評価 千葉慎一 P.4

2 肩の動きと機能に対するバイオメカニクスからのアプローチ 田中 洋 P.13

1

動く肩甲骨をとらえる！

肩甲胸郭関節に着目した 肩関節の評価

千葉慎一

昭和大学藤が丘リハビリテーション病院
理学療法士

2月20日に「スポーツ選手のためのリハビリテーション研究会」が開催され、「肩甲胸郭関節に着目した肩関節の代表的スポーツ外傷・障害への対応」というテーマで講演されたのが千葉慎一先生だった。そこで肩甲胸郭関節と肩甲骨について豊富な動画とスライドで説明された。この講演内容を改めて取材させていただいた。誌面の関係上、割愛した画像（動画を含む）は多数あるが、ご了承いただきたい。なお、千葉先生は、昭和大学藤が丘リハビリテーション病院にいらっしゃった山口光國先生の下で肩について学んだことがきっかけになり、肩についてわかりやすく資料をまとめておられる。今回のスライドも山口先生の文献を千葉先生が再度整理し、一層わかりやすくしたものとのこと。以下、インタビュー形式で掲載させていただく。

肩複合体

千葉：図1は、肩複合体を示したものです。よく言われているように、腕の動きは複数の関節で動き、1つの関節だけで動くものではないということです。いろいろなところが動いて遂行される動きですから、どこかが動かなくても見かけ上は普通に動いているようにみえてしまいます。図1のA～Eの5つの関節で1つの動作をしますから、要は足し算なのです。物を投げたりする動きを100とするならば、それぞれの関節で100の動きを分担しています。それがどこかが欠けてしまったら、欠けた分をど

こかが補わないといけない。それが集中しやすいのが、一番動きやすい肩甲上腕関節ということになります。こうして動きを代償したところにストレスが集中してしまうということです。

肩のスポーツ外傷・障害として、肩関節脱臼、肩鎖関節脱臼・肩鎖関節内障、腱板断裂・腱板損傷、上腕二頭筋長頭腱炎、関節唇損傷などがあります。そのなかでもとくに多いのは、腱板損傷、上腕二頭筋長頭腱炎と関節唇損傷です。これはスポーツ障害と言われるものにあたります。逆に脱臼などはスポーツ外傷になります。

——腱板断裂と上腕二頭筋長頭腱炎と関節唇損傷は障害？

千葉：障害のほうに近いですね。ただ断裂に関しては外傷のほうにも入ってきています。普通にずっと投げたりしていても断裂する場合があります。

——1回の外力ではなく。

千葉：1回の外力というのは稀です。腱板損傷という状態から、痛いのを我慢して投げ続けているうちに、少しずつ切れていって最終的にはブチッと切れてしまうという感じはあります。

——上腕二頭筋長頭腱炎も障害。

千葉：だいたいオーバーユースということになってくるのではないかと思います。図2は肩のスポーツ外傷・障害を競技別に分けたものです。腱板損傷と上腕二頭筋長頭腱炎やインピンジメント症候群がどの競技にも多いです。ただしバレーボールで特徴的に起こりやすいのが、肩甲上神経絞扼性神経障害です。

——絞扼というのは神経が挟まれる？

千葉：挟まれるというか、肩甲上神経は頸



ちば・しんいち先生

から出て、肩甲骨を回っている神経なので、ボールを下に打ちつけたときなど、肩甲骨が動きすぎてしまうとその神経が引っ張られるような感じになります。それで麻痺を起こし、棘下筋が萎縮してしまうといった状態です。野球やテニスなどのオーバーヘッドスポーツで起こりやすい疾患ではありますが、バレーボールが一番多いかもしれません。

——スパイクを頻繁に打つ選手？

千葉：そうかもしれません。他の競技はどれも地に足がついてプレーするスポーツですから、体幹などで吸収しやすい部分があるかもしれません。バレーボールの場合は、からだがか空中に浮いた状態で打ち下ろしたりしますので、より肩甲骨の動きが大きく出てしまっているのかもしれないし、いろいろな方向に打ち分けなければいけないということもあるので、それで起こっている可能性もあるのではないのでしょうか。

——肩甲骨は動けば動くほどいいというわけではない。

千葉：動けば動いただけいいのでしょうか

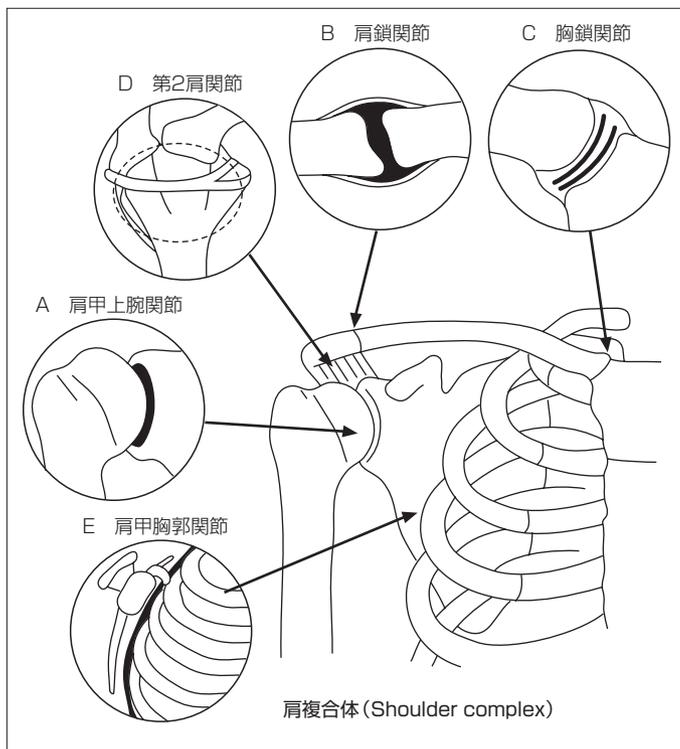


図1 肩関節の肩複合体

<p>バレーボール 腱板損傷 Impingement症候群 上腕二頭筋長頭腱炎 肩甲上神経絞扼性神経障害</p>	<p>テニス 腱板損傷 Impingement症候群 上腕二頭筋長頭腱炎</p>
<p>水泳 Impingement症候群 上腕二頭筋長頭腱炎</p>	<p>ラグビー 肩関節脱臼 肩鎖関節脱臼 腱板損傷</p>

図2 競技別、肩のスポーツ外傷・傷害

1. 第1の安定化機構 (肩甲上腕関節の解剖学的特徴)
2. 第2の安定化機構 (関節包・腱板機能)
3. 第3の安定化機構 (肩甲胸郭関節の機能)

図3 肩関節の安定化機構

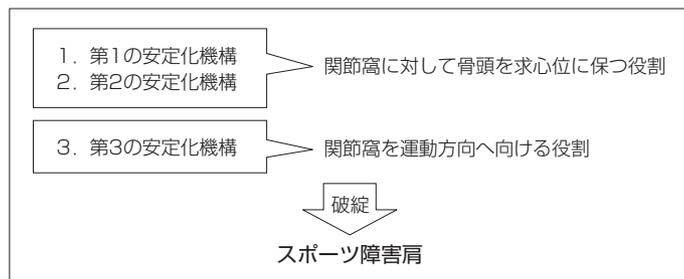


図4 安定化機構の役割

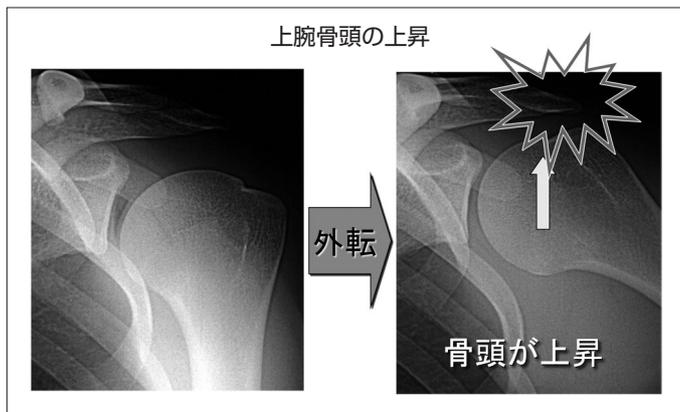


図5 第2の安定化機構



図6 第3の安定化機構

れど、ある一定の方向ばかり常に動きすぎているとよくない。次の図3は肩を安定させる機構、メカニズムは3つの機構として分けられるということを説明したものです。第1の安定化機構は、骨や関節唇の形状による安定化機構。第2の安定化機構は関節包や腱板によって得られる安定化機構です。今回の講演のテーマだった肩甲胸郭関節の機能というのは第3の安定化機構に入ります。それを大きく便宜上分けていく

と、図4のように、第1と第2の安定化機構は骨頭を関節窩に求心位に保つ安定化機構。第3の安定化機構は逆に上腕骨頭に対して肩甲骨を追従させる安定機構、関節窩を運動方向へ向ける役割です。これらの安定化機構がなんらかの原因で破綻してしまうことで起こるのが「スポーツ障害肩」ですが、一般的な肩関節疾患も同様に安定化機構がなんらかの原因で崩れたときに起こってくるものです。図5は腱板機能が悪く

なった人のX線像です。手を下垂位から外転させることで上腕骨頭が上昇し、それでインピンジメントを起こすのですが、これは第2の安定化機構が破綻してしまったために症状が現れた例です。図6は第3の安定化機構である肩甲骨の機能が悪くなった人のX線像です。同じ外転の動作ですが、外転したときに本当は肩甲骨が上方回旋しなければいけないのですが、逆に下方回旋して肩峰下でインピンジメントが起こって

2

動く肩甲骨をとらえる！

肩の動きと機能に対する バイオメカニクスからのアプローチ

田中 洋

信原病院・バイオメカニクス研究所研究員

田中先生は、新潟大学教育学部健康スポーツ科学課程在籍中、卒業研究で当時普及し始めたモーションキャプチャ・システムに携わり、卒業後同大学院自然科学研究科博士前期課程情報計算機専攻（現在は電気情報工学専攻人間支援科学コース）に進み、現在の信原病院・バイオメカニクス研究所へ入所して5年が経つ。現在も新潟大学（林研究室）と共同研究をしているが、大学院時代は林豊彦教授（新潟大学工学部福祉人間工学科教授）と中村康雄准教授（現在同志社大学スポーツ健康科学部スポーツ健康科学研究科准教授）の2人に学んだ。とくにピッチング動作の研究ということではなく、膝、肩など部位を問わず、バイオメカニクスを臨床に応用するという分野での研究に携わってこられたが、現在の

研究所では、肩中心の研究に取り組んでいる。その対象は肩の構造から動作に至るまで幅広い。今回は、肩のなかでもとくに肩甲骨にスポットを当てて解説していただいたが、肩の構造上、その他の部分についても、また投球動作についても語っていただいた。実際には100枚以上のスライドを用いられたが、ここではその多くを割愛させていただいた。以下は、田中先生の解説を要約しつつまとめたものである。なお、ここで述べられている内容は一部上記林教授、中村准教授によるもの、また共同研究のものも含まれている。

バイオメカニクスとは

肩の構造や動きに対してはいろいろなアプローチの仕方があると思いますが、当研究所ではバイオメカニクスという手法を用いています。バイオメカニクスというのは造語で、バイオ (bio) は生物やヒトを表



たなか・ひろし先生

し、メカニクス (mechanics) は機械や力学を示します。つまり対象はヒトや生物であり、力学的にアプローチしていくのがバイオメカニクスで、細胞レベルから歩く・走る・跳ぶ・投げるといった基本的な動作まで幅広く応用されています。

整形外科に応用するとき、なぜバイオメカニクスの手法を用いるかというと、整形外科領域は運動器の評価を行いますから、生物学的体系の正常な構造、調節機構を理解するために、また障害予防や機能不全・回復メカニズムへのアプローチを目的として応用していきます。数十年前はアナログな手法で紙上のものを読むという方法でしたが、現在ではほぼ100%デジタルな世界で、コンピューター上での表現が一般的です。たとえば、腱はどうなっているかを、屍体からモデル化、あるいは正常人のモデルを作り、それに運動を加えて表現していきます (例：骨格モデルにして動かす。動画は割愛)。

当研究所は全国レベルでみても特殊といってもよいと思います。大学病院であれば

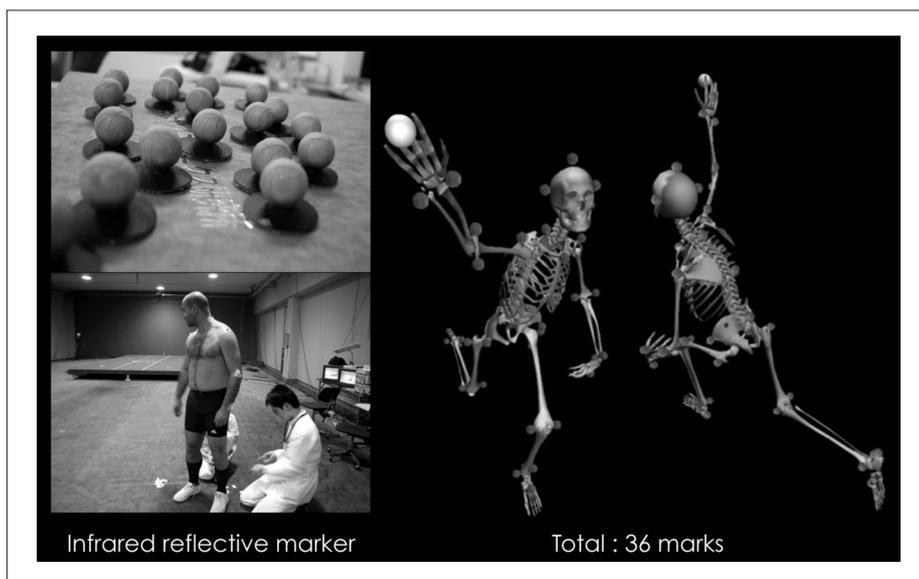


図1 信原病院・バイオメカニクス研究所のモーションキャプチャ・システム

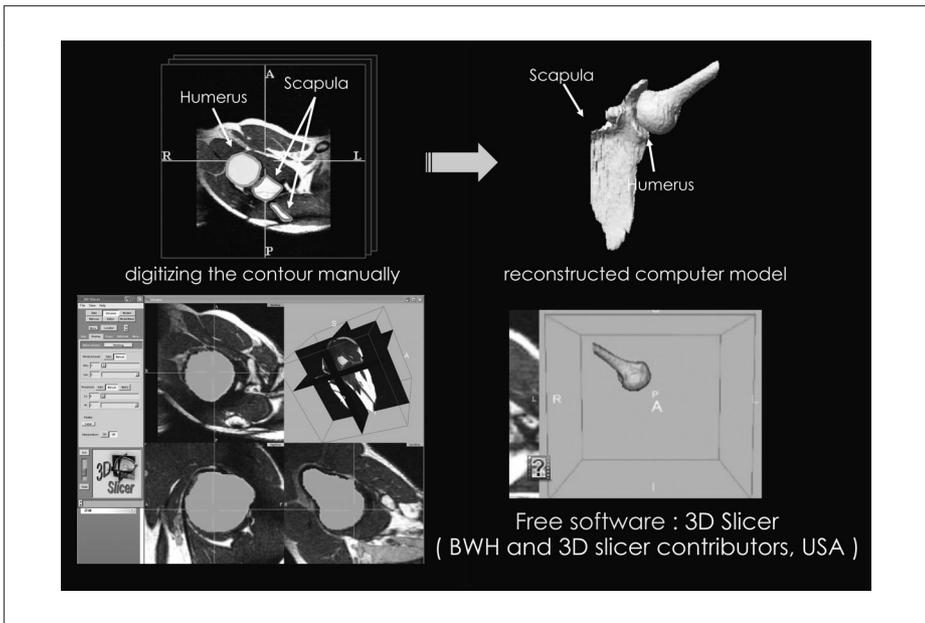


図2 CT画像とMRIをベースにしたモデル (P.26にカラー図)

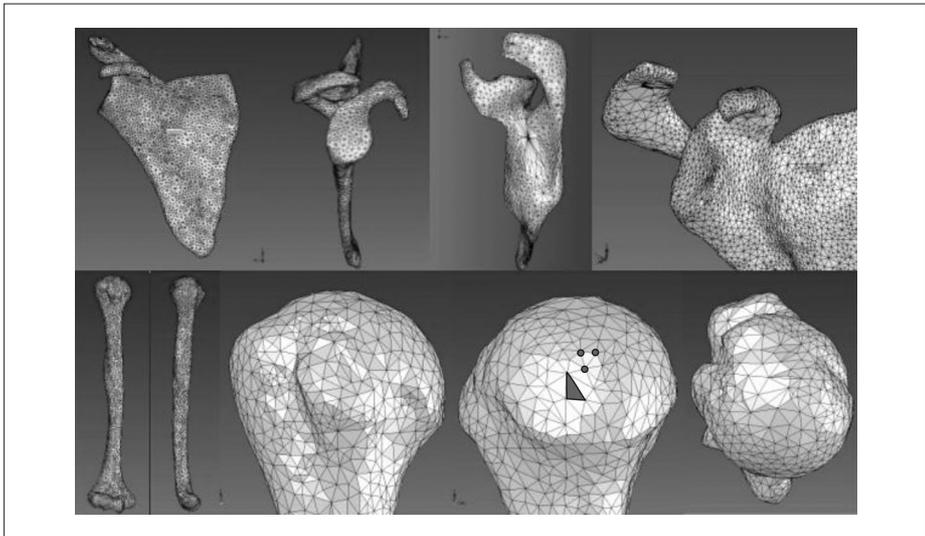


図3 点とパッチで構成された骨のモデル (P.26にカラー図)

研究室がありますが、当院のようなプライベートな病院で、医師、理学療法士、レントゲン技師と研究スタッフが連携してアプローチしているところは珍しいと言われています。概要を述べると、モデルは生体内情報をMRIやCT画像で得て作っていきます。それにその人の動きを加えていくのが、kinematicsのツールで、あとで説明しますが、モーションキャプチャ・システム(以下MCS)や3次元磁気センサーなどになります。得られた情報からinverse dynamics(逆力学、以下ID)といった結果から事象を求めるテクニックを用いたり、physiological optimization(生理学的最適化)とあって、最適化モデルのひとつで、ヒトの生体、動

きには個別に特徴があるので、その人あるいはグループに対して最適な計算方法が当てはめられるかを工学的に求めていきます。次に、それを検証、評価して、visualization、つまり人の目に訴えやすいものに変換して呈示していきます。これが当研究所でのアプローチ・アウトラインになります。

まずはこうして人の生体を計測していくわけですが、生体内(in-vivo)を直接計測する直接計測方法、生体外(in-vitro)の情報を得る間接計測法とがあります。前者にはX線、X線透視装置、CT、MRI、超音波装置、後者には3次元デジタイザー、磁気センサー、MCS、ハイスピードビデオ

システムなどがあります。前者は時間・空間の分析能が高く、データの信頼性も高いが、計測肢位の制約があり、X線被曝が生じるものもあります。また後者は、計測が簡便であり、自由度の高い運動の撮影が可能だが、データの信頼性にばらつきがあるといったように、それぞれメリット、デメリットがあります。当研究所では、前者のX線、X線透視装置、CT、MRIを、後者のMCSを採用、いわば「いいとこどり」をしたハイブリッドタイプの手法を用いています。具体的には、in-vivo情報はopen-MRシステム(APERTO Eterna、日立メディカル社製)とCTシステム(ECLOSS、日立メディカル社製)、in-vitro情報についてはMCSを用いています。

当研究所のMCS、ProReflex MCU-500+(Qualisys社製、スウェーデン)は、図1のように、赤外線を反射する球形のマーカーを各関節の特徴点の上に貼り、一例として図1右のようなアウトプットを行っています。図2はCT像とMRIをベースにしたモデルの例です。このように、上腕骨や肩甲骨などを3方向から骨の領域を手動でとっていき、図のような立体的モデルを構築できます。図3は、コンピューター上のモデルですが、これは点と面で形作られ、直観的に「骨形状」と認識できます。複数の点とパッチと呼んでいる面とでひとつのモデルができます。この骨のモデルは、骨が変形しない剛体モデルとして扱うことが多いのですが、もう少し掘り下げ、どのくらいの力がどの方向に加わると、どの程度変形するか、そういう条件式を用いて扱うこともあります。

動的なものでは、先ほど挙げたIDがあります(図4)。投球動作は左から右へと流れていきますが、IDは結果から事象を求めていく手法です。その逆に事象を作っていく手法はforward dynamicsと呼ばれ、典型例がロボットです。この2つの方法を使い分けていくのですが、とくに投球動作についてはIDがメインになります。つま

り、投げ終わったデータを使って、その前を順にみていくことになります。そのなかで上腕骨と肩甲骨の扱いで言えば、オイラー角を用いてそれらの姿勢を記述し、上腕骨が胸骨に対して、上腕骨が肩甲骨に対して、肩甲骨が胸骨に対して、どれくらい並進・回転しているのかをみていきます。そのため座標系を各パーツに設定していきます（オイラー角は、ある座標系とある座標系の回転と並進を算出する。座標系はそれぞれ3軸（X軸、Y軸、Z軸）で構成される。ここで表示している関節角度は、回転成分である）。

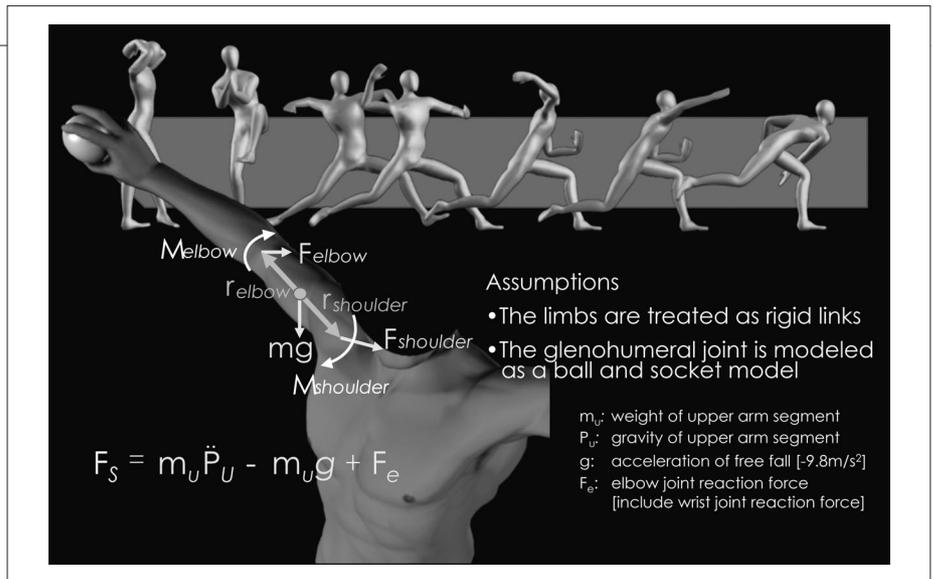


図4 Inverse Dynamicsの方法 (P.26にカラー図)

肩のバイオメカニクス

では、肩の話に入ります。図5は、MRとCTで撮影したデータを組み合わせ、ひとつの運動を表現したものです。挙上（「複数面で腕を挙げる運動」という意味で使用しています）という運動データをMRIで、骨の特徴を表すデータをCTで得て、両者を組み合わせることで明瞭に動きを表すことができます。挙上に伴い上腕骨が外旋していく。これは信原が言っていることですが、肩峰下をくぐるためには必ず外旋が必要で、そのことを明瞭に表したデータのひとつと言えます。グラフでは、挙上の角度によって動きの量が変わっていますが、外旋は90°までは増えていくというデータです。

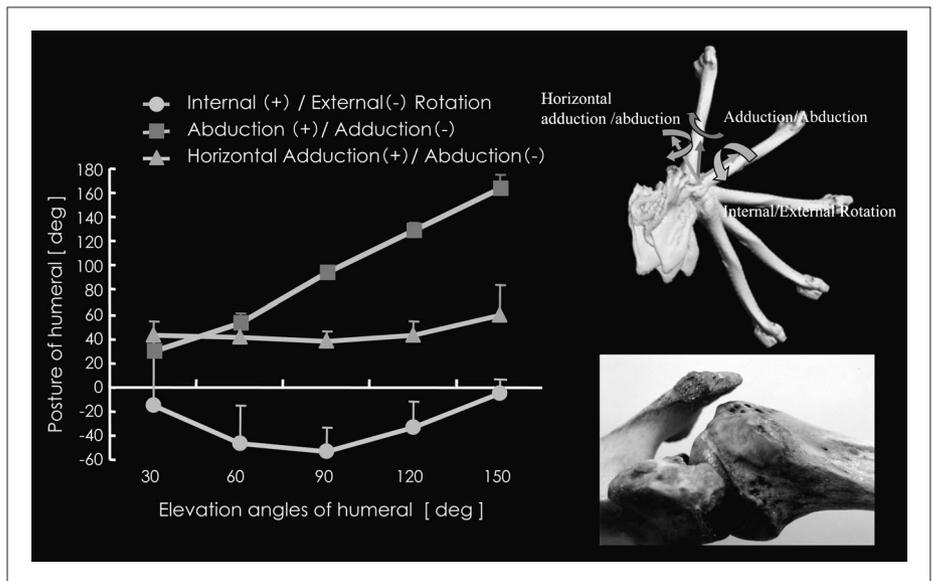


図5 Scapula planeでの挙上 (P.26にカラー図)

次に、骨の構造からみた肩関節と上腕骨についてですが（図6）、屍体モデルを使って、臼蓋の深さを測定した人がいます（文献1）。整形外科的表現で言うと、真上（臼蓋上結節）が12時、以下90°時計回りに、3時、6時（臼蓋下結節）、9時となりますが、12時と6時方向（上下）は3時と9時方向（前後）に比べ、深さが大きい。前後は浅いと言われています。

屍体モデルを用いて、脱臼について調べた文献では（文献2）、関節唇が安定性に寄与する割合は約20%で、それ以外は構造的なものと言われています。

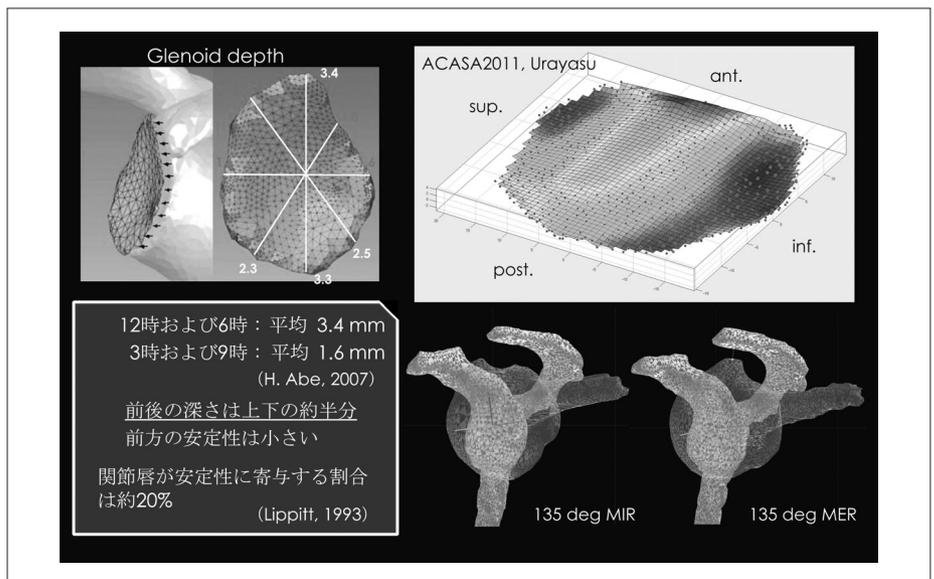


図6 Glenoid Geometry (P.26にカラー図)