

肩関節の安定化機構

昭和大学藤が丘リハビリテーション病院整形外科

筒井 廣明

昭和大学藤が丘病院整形外科

山本 龍二・安楽 岩嗣

三原 研一・今里 有紀彦

保刈 成

The Stabilizing Mechanisms of Shoulder Joint

by

H. Tsutsui, M. D.

Department of Orthopaedic Surgery, Showa Univ. Rehabilitation Hospital

R. Yamamoto, M. D., I. Anraku, M. D., K. Mihara, M. D.,

Y. Imazato, M. D. and S. Hokari, M. D.

Department of Orthopaedic Surgery, Showa Univ. Fujigaoka Hospital

The shoulder joint is the most mobile joint in the body combined with a small glenoid and a large humeral head. This joint has been thought to be an unstable joint because of its anatomical structure and the recurrence rate from initial dislocations. Our opinion of this joint is that it has most distinguished stabilizing mechanisms for keeping a wide range of motion.

1. The first stabilizing mechanism

This mechanism is the bony combination of the radius between the glenoid cavity and the humeral head. The anatomical study showed the radius of a cross section of the glenoid was 16.8 mm and of the humeral head 22 mm. The computation of the maximum permissible kinetic vector that enables the humeral head to be on the glenoid was 43°.

2. The second stabilizing mechanism

The second mechanism is the function of the anterior capsule including the inferior glenohumeral ligament.

The anterior capsule works involuntary in both its tension and direction as the centripetal force does against the shear force.

3. The disadvantages of these two stabilizing mechanisms

The disadvantages of these two stabilizing mechanisms are ; - Inefficiency against the increased anterior kinetic vector during the positioning of the upper extremities vertically against the glenoid
- The decrease of bony structural intensity compared with other joints such as the hip joint.

4. The third stabilizing mechanism

The third stabilizing mechanism is the function of the shoulder girdle.

Its first function is the mobility of the scapula working as shock absorber against the shear force that falls on the glenohumeral joint.

The second is the function of the shoulder girdle muscles such as the pectoralis major and the deltoid.

In conclusion, therefore, a normal shoulder joint should be the most distinguished joint with these

stabilizing mechanisms physically and anatomically maintaining a wide range of motion.

key words : 肩関節 (shoulder joint), 安定化機構 (stabilizing mechanism), 生体力学 (biomechanics)

肩関節は小さな関節窩に対し骨頭が大きいために『テニスボール』と『さかずき』の関係として捉えられたり、臨床上也他の関節に比べ外傷による脱臼が多くみられ、初回脱臼から反復性に移行しやすいため不安定な関節であるとの考え方が一般通念として捉えられている⁹⁾。

しかし我々は、一見不安定に見える肩関節は、上肢の機能を十分に行うための広い可動域を保持しながら、あらゆる上肢の動きに際して上腕骨を関節窩を介して軀幹に固定する作用を有する優れた安定した関節であると考え、今回、肩関節の水平面上における前方への安定化機構について考察してみた。

1. 第1の安定化機構

肩関節の安定化機構として、まず第1に肩甲上腕関節の骨性の解剖学的形状の特徴を考えた。

物理学的に運動の安定とは図1-aのように運動の方向及び速度が一定である状態、つまり定常性を保つことを指し、安定した位置とは、図1-bのように運動が一点に収束しやすい状態を指す。それに対して図

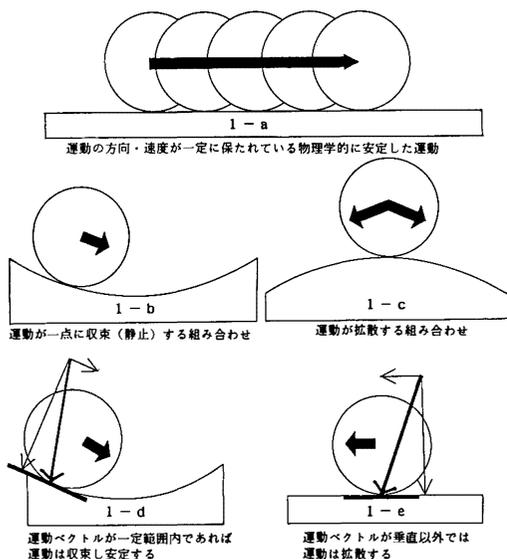


図 1

1-cのような運動が拡散して行きやすい状態が不安定な位置と考えられている⁹⁾。

上肢に外力が加わったとき、骨頭が関節窩上に保持されているためには、関節窩の形状が大きく影響する。関節窩の面が骨頭に対して凹の場合は、運動ベクトルが面に対し垂直ないしそれ以上であっても、骨頭は関節窩中心を目指し運動して行き、自らの関節安定化が図れる(図1-d)。これに対し、面が水平または骨頭に対して凸ならば、骨頭を関節窩上に保持するためには上肢の運動ベクトルは面に対し垂直でなければならない(図1-c)。この運動ベクトルの許容角度を肩関節についてみると、図2のごとく関節窩の横径が一定であるならば関節窩が水平な状態が最も小さく、関節窩の凹面の半径が小さくなるに従い許容角度は増加して行く。計測上による関節窩横径の半径は平均16.8mmで、骨頭径の半径22mmに比べ微妙に小さい。この計測結果は、鶴田、八木の報告と同様であり^{9),11)}、軟骨の厚さを2mmとして計算すると、骨頭の運動ベクトルが前外方43°までは関節の安定化が自ずと得られる事になる。更に関節窩の半径が小さくなって15.8mmの場合から関節窩横径の長さを直径とする関節窩になるまで計算上は45°の運動ベクトルの許容角度を維持できる事になる。

もし骨頭径と同じ半径を有する関節窩が、計測上の関節窩と同じ安定化、つまり43°の運動ベクトルの許容角度を得ようとするならば、およそ1.6倍の大きさの関節窩で骨性に骨頭を被覆しなければならないことになる。

一方、関節の接触面積についてみると、関節窩横径の半径と骨頭径が同じ場合が最大であり、そこからの逸脱が大きくなるにしたがい面と面の接触から点と点の接触へと移行する。また、関節窩横径の半径が小さくなるにしたがい接触面積は減少し、単位面積当りの圧力が増すばかりでなく、その形態から圧力に対する構築学的強度の弱화가顕著になって来る(図3)。

以上から、骨頭半径に比べ関節窩横径の半径が若干小さい肩甲上腕関節の形態は、構築学的な強度をできるだけ損なう事なく、物理学的に安定した状態を得るための最も有利な構造であると考えられ、更にこの骨

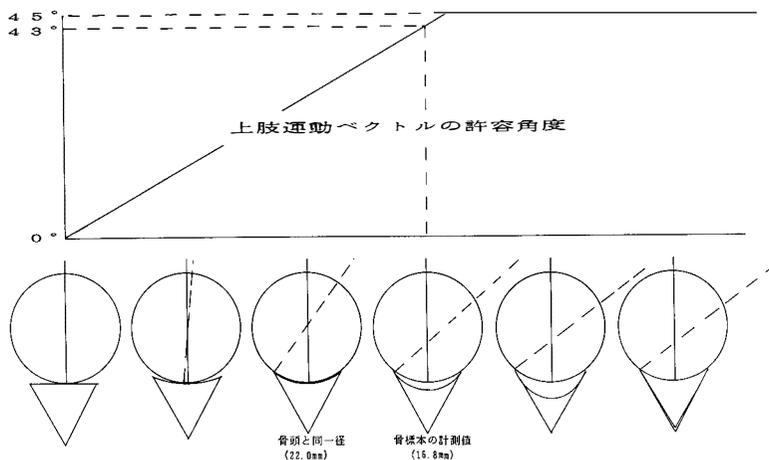


図2 関節窩凹面の変化により、骨頭を関節窩上に保持可能な骨頭の運動ベクトルの許容角度も変化する

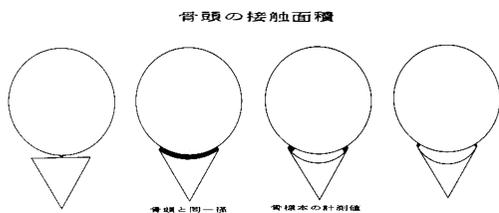


図3 関節窩凹面の変化による骨頭との接触面積の変化

性の要因に加え、関節唇および関節軟骨の介入で接触面積は増大し、関節窩縁の構築学的な強度の回避が行われるものと考えられる。

2. 第2の安定化機構

第2番目の安定化機構は、第1の安定化機構の構築学的な特徴による利点である前外方43°未満の骨頭の運動ベクトルに対する骨頭の運動方向の求心性の保持能力を補助する関節包の機能ではないかと考える。

まず屍体標本を用いた実験では、他動的な上肢の運動において、inferior glenohumeral ligamentを含む前関節包を関節窩前縁から剝離した際に上腕骨頭は容易に前方に逸脱することから、前方への動揺性に対しては関節窩前縁に関節包が付着していることが重要であると考え、同様な報告も散見される。^{1),2),3),5),8),10)}

この前方関節包の解剖学的な特徴をCT上から計測すると、骨頭が関節窩上求心位にあるならば、関節包の走行は骨頭の回旋による影響は少なく、関節窩面に

対し約60°の角度となっている(図4-a)。これにより関節包の張力は、骨頭の前方および外方への成分に抗することが出来、骨頭が関節窩上求心位を保ちながら回旋運動を行うならば、関節包の張力方向は関節窩面に対し後内方へ60°の角度を保持することが出来、張力の後方成分と内方(求心方向)成分とを比較すると、骨頭を関節窩に押し付ける内方成分が優位であり、これが第1の安定化機構を補なう作用をするものと考えられる。

また関節窩前縁の関節窩面に対しなす角は約60°であり関節包の走行とほぼ一致し、関節包付着部及び関節窩縁に対し局所的に力が集中する状態を回避する構造になっているものと考えられる(図4-b)。

また、外傷性の脱臼・亜脱臼の際には、通常肩関節は水平伸展しながら前方へ上腕骨頭が逸脱していくので、その際、前方関節包は上腕骨頭の外旋に伴い張力が高まり、より一層骨頭の運動ベクトル方向を修正するように働く(図5-a)。

それでも、骨頭が関節窩上の求心位からの逸脱を生じた場合には、関節包の走行もそれに準じ変化し、その結果、逸脱方向に抗する張力の増加が得られ、骨頭の運動ベクトルの方向を修正する合理的な安定化機構を有していることになる(図5-b)。これらに加え、関節包の張力方向と走行が一致している Rotator cuff は、機能的にこの関節包の補助をしているのではないかと考えている。

関節包の関節窩面に対する角度

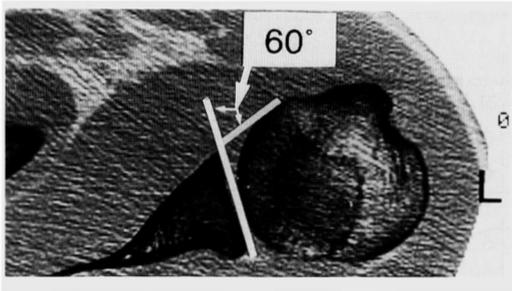
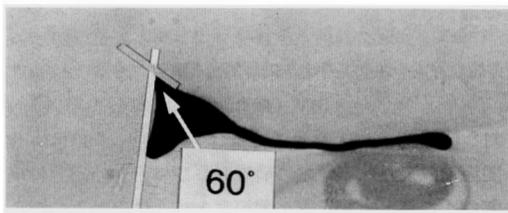
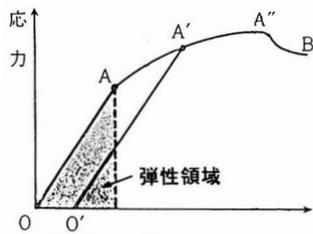


図4-a



関節窩前縁の関節窩面に対する角度

図4-b



関節包はその弾性領域内であれば骨頭の回旋角度の変化にともない張力は直線的に変化する

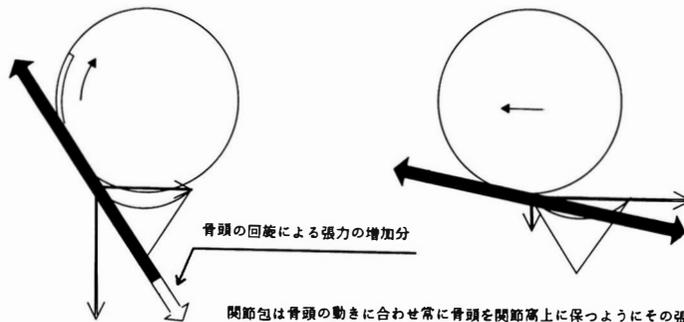
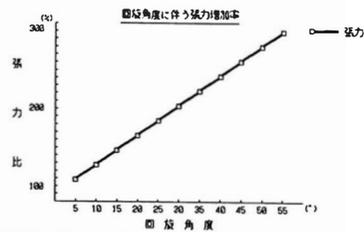


図 5

3. 第1・第2の安定化機構の弱点

これら第1・第2の二つの安定化機構は水平面上での生理的な範囲内での上腕骨の動きに対し、物理学的に安定化させるための役割を、いかなる時にも不随意に行う重要な役割を果たしている。しかし、これらの機構の弱点は、関節窩に対し上腕骨軸が垂直に近い肢位の時に上肢に前方から外力が加わった場合、骨頭の運動ベクトルが、前方の剪断力として強くなるのに対し、これらの安定化機構の中で、第1の安定化機構に関しては、骨頭の運動方向が関節窩面に対して 43° を超えるために機能せず、更に、この骨頭の運動方向は関節包の張力方向から大きく外れるために第2の安定化機構としての関節包の機能も低下するので、第1・第2の安定化機構にとっては最も不利な状態となっている点、また他の関節、例えば股関節のような関節と比べると骨性臼蓋による骨頭の被覆が少ないために外力に対する構築学的強度が劣る点である。

4. 第3の安定化機構 (図6)

第1・第2の安定化機構の弱点を補うのが第1・第2以外の肩関節複合体を構成する成分で行われる第3

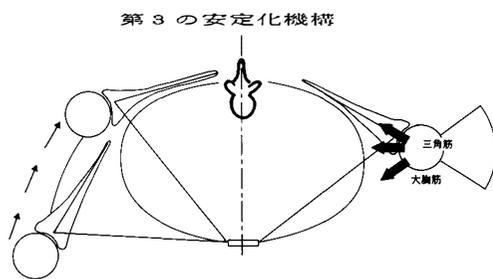


図6-a
前方からの外力に対する肩
甲胸郭でのショックアブ
ソーバーとしての機能

図6-b
三角筋及び軀幹上腕筋群
の骨頭に対する張力方向

の安定化機構であろう。これは1つには、肩甲骨が動くことによる肩甲上腕関節のショックアブソーバーとしての機能であり、この作用は、直接的な衝撃を和らげることが可能であるとともに、外力に対する肩関節の防御反応としての随意的な筋収縮の反応時間の遅れを稼ぐことも可能にしているのではないかと考える。

第2には肩関節周囲の筋群の働きで、この機構が機能する範囲は筋の走行などにより限定されるが、上腕骨軸が関節窩に対して垂直に近い肢位の時に前方への剪断力に対して骨頭の関節窩への安定化に対し最も強力に作用する。これらは、いずれも第1・第2の安定化機構の弱点を補いながら、肩甲上腕関節の安定化機構の補助をなし、なおかつ可動域の拡大を図っているのであろうと考える。

5. まとめ

肩関節の安定化に際しては、関節窩、関節包、腱板及び軀幹上腕筋群が常時機能しているとする文献が散見されるが^{6),7)}、我々の結果からは、第1、第2及び第3の1の安定化機構は上肢のあらゆる肢位において不随意に働く機構であり、第3の2の安定化機構としてとらえた軀幹上腕筋群の機能は肩関節の安定化に作用する事の出来る肢位はごく限定され、肢位によっては逆に上腕骨頭を関節窩から逸脱する方向に働くもの

と考えた。

以上より、正常な肩関節は大きな可動域を保持しながら、その機能を損なう事なく物理学的にまた解剖学的に安定する機能を有する人体の中で最も合理的な関節ではないかと考える。そして、これらの生理的な安定化機構全てが対応することのできない外力が加わり、脱臼あるいは亜脱臼によって特に第1、第2の安定化機構である関節窩の損傷あるいは関節包および腱板の機構に破綻を生じた際には、わずかな力のベクトルの変化が関節包・腱板・肩周囲筋に対し大きな力学的損失を招き、その結果、非常に不安定な関節になって行くものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) Adolfsson L. and Lysholm J. : Arthroscopy and stabizing testing for anterior shoulder instability. Arthroscopy, 5 : 315-320, 1989.
- 2) Bankart A. S. B. : Recurrent or habitual dislocation of the shoulder-joint. British Med. J., 2 : 1132-1133, 1923.
- 3) Chao E. Y. S. and Morrey B. F. : Recurrent anterior dislocation of the shoulder. Clinical biomechanics. Churchill Livingstone, 37-46, 1981.
- 4) 原島 鮮 : 力学, 裳華房, 1990.
- 5) Hovelius L. et al. : Recurrences after initial dislocation of the shoulder —Results of a prospective study of treatment—. J. B. J. S., 65-A : 343-349, 1983.
- 6) 伊藤信之 : 肩関節不安定症とその安定化対策, 関節外科, 655-662, 1990.
- 7) Saha A. K. : Dynamic stability of the glenohumeral joint. Acta Orthop. Scand., 42, 491-505, 1971.
- 8) Townley C. O. et al. : The Capsular Mechanism in Recurrent Dislocation of the Shoulder. J. Bone and Joint Surg., 370-380, 1950.
- 9) 鶴田藤男 : 西九州人肩甲骨の人類学的研究. 長崎医学会誌, 42 : 496-508, 1967.
- 10) Turkel S. J., et al : Stabilizing Mechanisms Preventing Anterior Dislocation of the Glenohumeral Joint. J. Bone and Joint Surg., 1208-1217, 1981.
- 11) 八木 治 : 西九州人上腕骨の人類学的研究. 長崎医学会誌, 45 : 22-23, 1970.