2 鎖骨，肩甲骨の バイオメカニクス

Kinematics of the Clavicle and Scapula

佐原 亘^{*1}，菅本一臣^{*2}
Wataru Sahara Kazuomi Sugamoto

Key Words

鎖骨／肩甲骨／解剖／動態解析

要旨 肩は上肢の基盤ともいえる部位であり，肩甲上腕関節と肩甲帯から構成される．肩甲上腕関節は体の中で最も広い可動域をもつ関節であり，その肩甲上腕関節が機能を十分発揮するためには肩甲帯が機能的に働くことが必要不可欠である．肩甲帯は通常の関節のように関節包や靱帯によって支えられておらず，肩甲骨に付着する筋群によって複雑にコントロールされている．そのため肩甲帯がどのように動いているのか，その仕組みを知ることは肩や上肢のリハビリテーションを考えるうえで非常に重要である．本稿では肩甲帯の解剖とその運動の仕組みについて解説する．

肩甲帯の構造

肩は上肢の基盤ともいえる部位であり，鎖骨，肩甲骨，上腕骨から構成される．肩甲骨は体幹とは直接関節を有しておらず，肩甲骨に付着する周囲の筋肉によってその動きは制御されている．鎖骨は胸鎖関節，肩鎖関節を介して体幹と肩甲骨を連結しており，肩甲骨の動きを制動する唯一の骨性因子といえる．この項ではその胸鎖関節，肩鎖関節，肩甲骨の動態について述べる．

胸鎖関節のキネマティクス

1. 胸鎖関節の構造

胸鎖関節の関節面は比較的平坦であり骨性の安定性はほとんどなく，主には靱帯によって制動される．重要な靱帯としては胸鎖靱帯，鎖骨間靱帯，肋鎖靱帯の3つが存在する．胸鎖靱帯は関節の前後を強靱靱帯として走行し，関節の安定性に寄与する．鎖骨間靱帯は関節上面を走行し，鎖骨が下降した際に緊張する．肋鎖靱帯は非常に強靱であり，鎖骨の挙上や回旋運動の際に制動効果を発揮する．

2. 胸鎖関節の動態

上肢外転時の動態について解説する．3次元動態は挙上/下降，屈曲/伸展，軸回旋の3つの成分に分けられる．挙上/下降については約

*1 大阪大学大学院医学系研究科器官制御外科学（整形外科）（〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-2）

E-mail : w-sahara@ares.eonet.ne.jp

*2 大阪大学大学院医学系研究科運動器バイオマテリアル学

図1 胸鎖関節の動態
a: 正面, b: 上方から観察

5° から始まり、上肢最大挙上位で約 15° に達する。水平屈曲/伸展については約 30° 伸展位から始まり、最大挙上位では約 60° に達する。軸回旋については最大挙上位までに約 35° 後方回旋する (図1)¹⁾。

肩鎖関節のキネマティクス

1. 肩鎖関節の構造

肩峰および鎖骨遠位端の関節面は共に平坦で骨形態の適合性は悪く、関節面の適合性を高める関節円板が骨の間に存在し関節包と連続している。関節の安定性は肩鎖靱帯、円錐靱帯、菱形靱帯によって補強される。肩鎖靱帯は肩鎖関節に全周性に付着し、強力に補強している。この靱帯は主に前後方向の安定性に寄与する。円錐靱帯と菱形靱帯を合わせて烏口鎖骨靱帯と呼び、鎖骨遠位部下面から烏口突起の弯曲部に付着し、上下方向の安定性に大きく寄与する。

関節周囲には鎖骨遠位端上面から肩峰上面にかけて僧帽筋上部線維、鎖骨遠位端前面には三角筋前部線維、肩峰外側には三角筋中部線維がそれぞれ付着する。肩鎖関節の上面には三角筋と僧帽筋の織り合わさった線維があり、関節面

の適合性の保持と補強の働きがある。肩鎖関節脱臼では肩鎖靱帯や烏口鎖骨靱帯が断裂するため生じる。脱臼の程度がひどい場合は鎖骨遠位端に付着する三角筋や僧帽筋も骨から剥離するため不安定性が増大する。

2. 肩鎖関節の動態

上肢外転時の動態について解説する。上肢が挙上するに従って、鎖骨に対して肩甲骨は約 15° 内転、約 20° 上方回旋、約 20° 後傾する¹⁾。また、回転軸を用いた解析を行うと、肩鎖靱帯と烏口鎖骨靱帯の烏口突起付着部とを結ぶ軸周りに約 35° 回転運動する (図2)²⁾。肩甲骨と鎖骨は先ほど述べた肩鎖靱帯と烏口鎖骨靱帯とで結合されており、肩甲骨はこれらの靱帯を介して鎖骨に吊り下がりながら、振り子のように動いていると解釈できる。肩鎖関節脱臼や鎖骨遠位端骨折に対して手術で肩鎖関節を固定することがあるが、強固な固定を行った場合、上記の回旋運動が制限される。したがって、無理に肩甲骨を動かそうとすると、骨折やインプラントの折損を引き起こすため、注意が必要である。ただし、肩甲上腕関節の運動は制限する必要がないため、内外旋運動や肩甲骨を固定しての挙

図2 肩鎖関節の動態

a: 正面, b: 上外側から観察. 肩鎖関節は肩鎖靱帯と烏口鎖骨靱帯の烏口突起付着部とを結ぶ軸周りに約 45° 回転運動する.

上運動などリハビリテーション（以下、リハ）にも工夫が必要である。

肩甲骨のキネマティクス

1. 骨関節の構造

肩甲骨と体幹（胸郭）との間は肩甲胸郭関節と呼ばれるが、いわゆる関節構造は存在しない。胸郭は脊柱、肋骨、胸骨から構成され、大きな円錐形を呈している。肩甲骨と胸郭の間には鎖骨があり互いを連結し、肩甲骨はこの胸郭に接するように存在する。肩甲骨の動きは主に肩甲骨に付着する筋群によって制御される。骨性の制動をほとんど受けないのでその可動範囲は広い。上に、上肢機能を発揮させるために動的安定性が要求される。

2. 肩甲骨周囲の筋肉

肩甲骨の各運動方向に対する主働筋を示す。上方回旋では僧帽筋上部線維、下部線維、前鋸筋下部、小胸筋が働く。僧帽筋下部線維は最大挙上付近での安定性に重要な役目を果たすと考

えられ、投球障害などではこの筋のトレーニングが重要である。また前鋸筋は長胸神経によって支配されており、この神経が障害されると翼状肩甲骨を呈する。僧帽筋は副神経によって支配されており、頸部リンパ節生検などで損傷すると肩甲骨の上方回旋が不良となる。下方回旋では肩甲挙筋、菱形筋、広背筋が、外転では前鋸筋、小胸筋が、内転では僧帽筋中部、菱形筋、広背筋がそれぞれ働く。

3. 肩甲骨の動態

上肢外転時の肩甲骨の動態について解説する。肩甲骨は10~0° 下方回旋, 30° 内旋, 20° 前傾の位置から始まり、上肢を挙上するに従って約 50~60° 上方回旋, 15~20° 後傾するが外転は約 5° とその変化は小さい。挙上 30° までは setting phase と呼ばれ、挙上運動の準備段階であり、この時肩甲骨は内転（内方への平行移動）と上方回旋が混在する動きを示す。挙上 30° 以降は平行移動が減少し、回旋運動を主体とする動きとなる（図3）³⁾。肩甲骨の動きは条

図3 肩甲骨の動態

後方から観察。a: 挙上 30° までは肩甲骨は内転と上方回旋が混在する。b: 挙上 30° 以降は回旋運動が主体となる。

件を変更することで変化する。挙上時と降下時を比較すると、降下時のほうが上方回旋、後方傾斜が少し大きい^{4, 5)}。また、年齢が増加すると後方傾斜と上方回旋が減少する⁶⁾。錘を持って負荷をかけると、挙上初期に肩甲骨の上方回旋が増加し、逆に midrange で減少する、変化しないなどさまざまな報告がある⁷⁻⁹⁾。このように年齢や負荷などによって肩甲骨の動きが変わることは、リハビリプログラムを検討するうえで有益な情報となる。

文 献

- 1) Sahara W, Sugamoto K, Murai M, Yoshikawa H : Three-dimensional clavicular and acromioclavicular rotations during arm abduction using vertically open MRI. *J Orthop Res* 2007 ; **25** : 1243-1249
- 2) Sahara W, Sugamoto K, Murai M, Tanaka H, Yoshikawa H : 3D kinematic analysis of the acromioclavicular joint during arm abduction using vertically open MRI. *J Orthop Res* 2006 ; **24** : 1823-1831
- 3) 信原克哉 : 第5章 肩のバイオメカニクス。肩—その機能と臨床 第4版。医学書院、東京、2012 ; pp47-83
- 4) McClure PW, Michener LA, Sennett BJ, Karduna AR : Direct 3-dimensional measurement of scapular kinematics during dynamic movements in vivo. *J Shoulder Elbow Surg* 2001 ; **10** : 269-277
- 5) Ludewig PM, Phadke V, Braman JP, Hassett DR, Cierninski CJ, LaPrade RF : Motion of the shoulder complex during multiplanar humeral elevation. *J Bone Joint Surg Am* 2009 ; **91** : 378-389
- 6) Endo K, Yukata K, Yasui N : Influence of age on scapulo-thoracic orientation. *Clin Biomech* 2004 ; **19** : 1009-1013
- 7) McQuade KJ, Smidt GL : Dynamic scapulohumeral rhythm : the effects of external resistance during elevation of the arm in the scapular plane. *J Orthop Sports Phys Ther* 1998 ; **27** : 125-133
- 8) de Groot JH, van Woensel W, van der Helm FC : Effect of different arm loads on the position of the scapula in abduction postures. *Clin Biomech* 1999 ; **14** : 309-314
- 9) Kon Y, Nishinaka N, Gamada K, Tsutsui H, Banks SA : The influence of handheld weight on the scapulohumeral rhythm. *J Shoulder Elbow Surg* 2008 ; **17** : 943-946