

外部負荷条件が前額面・肩甲骨面挙上時の 肩甲骨上方回旋角度に与える影響

—三角筋・棘下筋との関係を中心に—

佐藤 彰 紘¹⁾ 北澤 あゆみ²⁾

The relationship between scapular rotation and shoulder abductor muscle activity during arm elevation on the frontal and scapular planes with different external loads

Akihiro Sato, Ayumi Kitazawa

抄 録

我々は各外部負荷条件下での前額面・肩甲骨面挙上時の肩甲骨上方回旋角度について肩関節外転筋である三角筋、棘下筋に着目しながらその関係性を検討した。実験では前額面・肩甲骨面挙上90°で負荷なし、1 kg 負荷、2 kg 負荷の各外部負荷条件下で肩甲骨上方回旋角度を測定した。そして負荷なし条件の平均値を基準に肩甲骨上方回旋角度の低い群と肩甲骨上方回旋角度の高い群に分けて検討を行った。また、各群1例の三角筋と棘下筋の表面筋電図を記録した。

結果、両群ともに前額面挙上では負荷量の増大に伴い肩甲骨上方回旋角度は減少する傾向にあったが、肩甲骨面挙上では負荷が増大しても肩甲骨上方回旋角度にほとんど影響しないということが明らかとなった。また、両群の筋電図から肩甲骨面挙上に比べ前額面挙上で相対的に三角筋の働きが大きいことが明らかとなり、三角筋の持つ下方回旋方向への力が肩甲骨上方回旋を妨げる要因の一つである可能性が示唆された。

キーワード：肩甲上腕リズム

外部負荷

三角筋

棘下筋

1) 健康科学大学健康科学部作業療法学 (Department of occupational therapy, Health Science University)

2) 健康科学大学健康科学部作業療法学科 研究生 (Department of occupational therapy, Health Science University : research student)

はじめに

肩関節の運動は上腕骨と肩甲骨の複雑な運動の組み合わせで起こることはすでに知られているところである。この複雑さゆえに肩関節は非常に損傷の多い関節であり、その基本的な構造や機能を知ることは多くの臨床家にとって重要な課題である。

現在、前額面上での上肢挙上と肩甲骨面上での上肢挙上の際の肩甲骨の運動について多くの研究報告があり、特に外部負荷を課した条件での前額面・肩甲骨面上の上肢挙上に伴う肩甲骨の運動については様々な側面からの報告がされている⁵⁾⁷⁾⁹⁾¹¹⁾。しかし、これらの研究報告では肩甲骨の位置や肩甲骨上腕リズムに着目したものが多く、肩関節外転筋との相互関係から上肢挙上に伴う肩甲骨の位置を検討するような報告は少ない。

最近の研究で、棘下筋が肩関節の外転に参与する可能性を示す報告がされている⁴⁾。この棘下筋は、前額面上での上肢挙上より肩甲骨面上での上肢挙上で収縮効率が良いことが、その線維走行から推察される。また、肩関節外転時の主動作筋は三角筋中部線維であるが、その線維走行から三角筋中部線維の強い収縮は肩甲骨に対して下方回旋の作用を持つことが推察できる。このことは三角筋の収縮が肩甲骨の上方回旋運動を制限する因子になっていることを示唆する。このように、肩関節外転筋の力学的特徴と上肢の前額面・肩甲骨面挙上時の肩甲骨運動の間には密接な関係性があると思われるが、肩関節外転筋の力学的な特徴と肩甲骨の運動を比較検討した調査報告は少ない。

以上のことから、我々は各外部負荷条件下において前額面上での上肢挙上と肩甲骨面上での上肢挙上時の肩甲骨上方回旋角度を調査し、それが肩関節外転筋の力学的特徴とどのような関係にあるのかを検討した。上記を明らかにすることで、リハビリテーション実施の際に肩関節への負担が少なく効率的な運動プログラムを遂行できることが期待される。

対象と方法

対象

対象は20-23歳の健康な大学生13名（男8、女5）である。被験者には実験の主旨を十分に説明し、書面にて同意を得た上で実験を行った。

方法

実験の概要を図1に示す。最初に事前検査として被験者の肩甲骨上方回旋角度を1) 前額面挙上90°（肩関節の外転）、2) 肩甲骨面挙上90°（約30°水平屈曲位での挙上）のそれぞれの肢位で測定した。上肢挙上は一度検者が上肢を支えながら各面上での動きを被験者に確認させ、その後手掌を下に向けた状態で自ら挙上するよう指示した。肩甲骨の上方回旋角度は脊柱と肩甲骨内側縁を検者が触察で確認し、それぞれの指標に真直ぐな棒をあててそれをデジタルカメラにて撮影（図1-B）し、その後 NIH imageJ 1.42 を用いてそれらの指標の角度計測を行った。

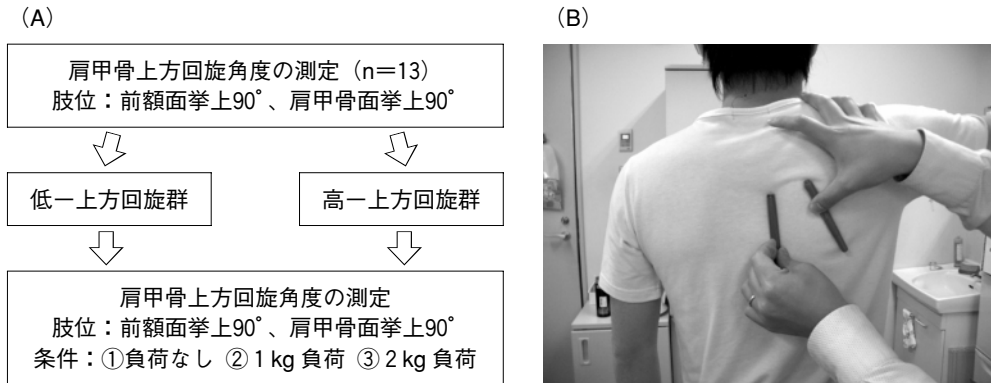


図1 実験の概要。(A)実験の流れのフローチャート。(B)肩甲骨上方回旋角度の測定風景。

事前検査の測定結果から肩甲骨上方回旋角度の平均値を算出し、平均値未満を「低-上方回旋群」、平均値以上を「高-上方回旋群」と2つのグループに分けて以後の解析を行った。

上記2群について前額面挙上90°、肩甲骨面挙上90°それぞれの肢位で、①外部負荷なし（上肢の重量のみ）、②1 kg 負荷、③2 kg 負荷の3条件で肩甲骨の上方回旋角度を上記同様測定した。肩甲骨の上方回旋角度は各群・条件毎に平均値を算出し、t検定を用いて有意差を確認した。被験者には体幹の代償運動が入らないよう体をまっすぐに保って行うよう実験中も常に注意を払った。

また、低-上方回旋群、高-上方回旋群それぞれの群において典型的な肩甲骨の運動パターンを示した1名について課題動作時の三角筋と棘下筋の表面筋電図（myo-system 酒井医療）を3秒間記録し、その平均振幅を比較した。

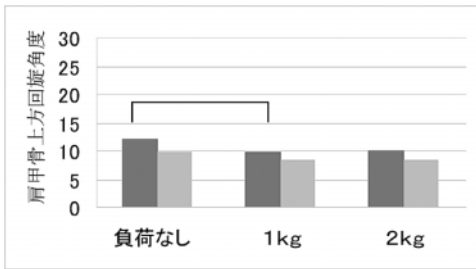
結果

前額面挙上90°時の肩甲骨上方回旋角度の平均は14.8°、肩甲骨面挙上90°時の肩甲骨上方回旋角度の平均は13.0°であり、両肢位の肩甲骨上方回旋角度に有意な差は認められなかった。そして、この平均をいずれも下回った被験者を「低-上方回旋群 (n=9)」、いずれかでも上回った被験者を「高-上方回旋群 (n=4)」とした。ほぼ全ての被験者が前額面挙上と肩甲骨面挙上で同様の傾向を示していた。

肩甲骨の上方回旋角度

図2は前額面・肩甲骨面挙上時の肩甲骨上方回旋角度を表した図である。図2-Aより、低-上方回旋群-前額面挙上では、外部負荷量の増大につれて肩甲骨の上方回旋角度が若干減少し、外部負荷なしと1 kg 負荷の間にはt検定において有意な差が認められた。低-上方回旋群-肩甲骨面挙上では外部負荷なしと2 kg 負荷の肩甲骨上方回旋角度では1.5°程度とわずかな違いしかなく、各外部負荷条件下による肩甲骨上方回旋角度はほとんど変わらないという結果になった。

(A)



(B)

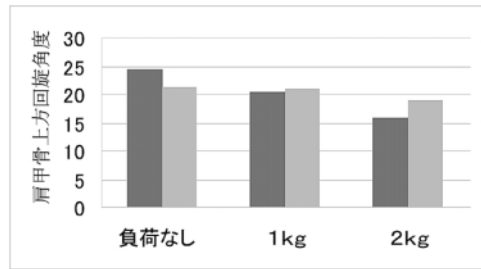
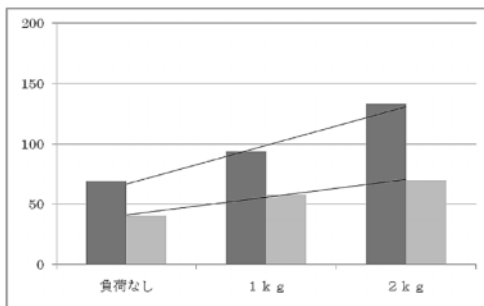
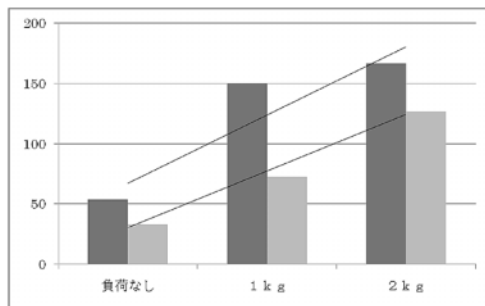


図2 前額面・肩甲骨面挙上時の肩甲骨上方回旋角度
(A)低一上方回旋群 (B)高一上方回旋群 ■：前額面挙上 ■：肩甲骨面挙上

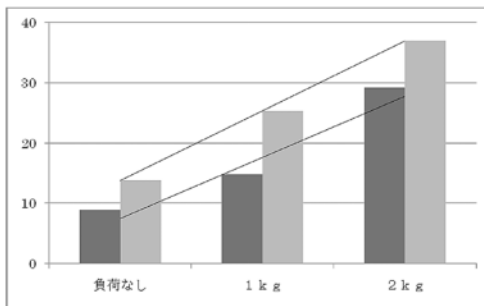
(A)



(C)



(B)



(D)

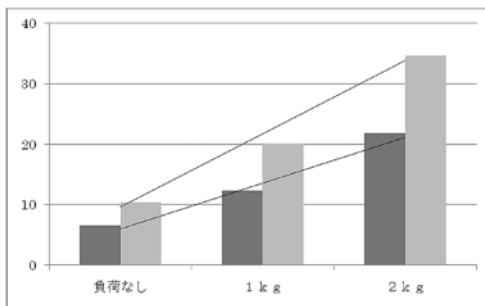


図3 各外部負荷条件下での筋電図の平均振幅
(A)低一上方回旋群：三角筋、(B)低一上方回旋群：棘下筋、(C)高一上方回旋群：三角筋、
(D)高一上方回旋群：棘下筋のそれぞれ1例の各条件における筋電図平均振幅 (μV)。
■：前額面挙上 ■：肩甲骨面挙上、図中の直線は各面毎の近似線である。

図2-Bより、高一上方回旋群-前額面挙上では外部負荷なしに比べ負荷量を増大することによって徐々に肩甲骨上方回旋角度が減少し、外部負荷なしに比べ2kg負荷では10°程度の上方向回旋角度の減少が見られた。一方、高一上方回旋群-肩甲骨面挙上では外部負荷なしと2kg負荷では2°程度しか違いがなく、各外部負荷条件下による肩甲骨上方回旋角度はほとんど変わらなかった。

三角筋・棘下筋の筋電図解析

図3は各外部負荷条件下での筋電図の平均振幅を表した図である。図中の直線はそれぞれの近似線を示している。

図3-Aは低-上方回旋群の三角筋の平均振幅を、図3-Bでは低-上方回旋群の棘下筋の平均振幅を表している。低-上方回旋群において、棘下筋はグラフ中の近似線からわかるように負荷量の増大による前額面・肩甲骨面挙上間での平均振幅の上昇率に大きな違いはないが、三角筋は肩甲骨面挙上に比べ前額面挙上で平均振幅の上昇率が高くなっており、前額面挙上時に三角筋の関与が大きくなっていることが分かる。

図3-Cは高-上方回旋群の三角筋の平均振幅を、図3-Dでは高-上方回旋群の棘下筋の平均振幅を表している。高-上方回旋群において、三角筋は外部負荷量の増大による前額面・肩甲骨面挙上間での平均振幅の上昇率に大きな違いはないが、棘下筋は前額面挙上に比べ肩甲骨面挙上で平均振幅の上昇率は高くなっている。これは外部負荷量の増大に伴って肩甲骨面挙上では棘下筋の関与が大きくなり、前額面挙上では棘下筋の関与が小さいため相対的に三角筋の関与が大きいことが分かる。

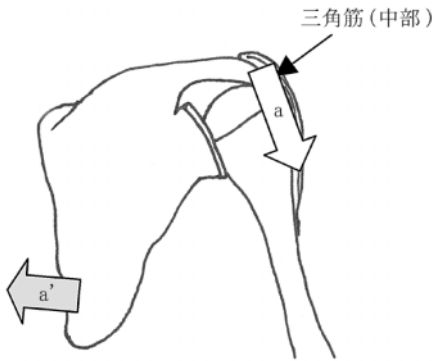
また、両群において棘下筋はどのような各外部負荷条件下においても前額面挙上より肩甲骨面挙上で働きが大きくなり、逆に三角筋は前額面挙上で働きが大きくなっている。

考察

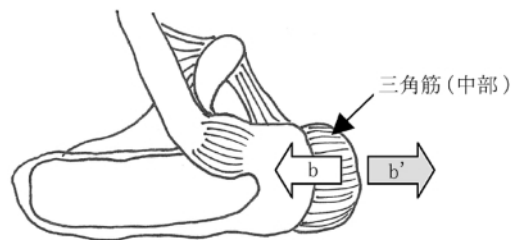
本実験より、前額面挙上では低-上方回旋群、高-上方回旋群ともに外部負荷量が増大するにつれて肩甲骨上方回旋角度は減少したが、肩甲骨面挙上では前額面挙上時に比べ外部負荷量を増大させても肩甲骨の上方回旋角度は減少しないという結果になった。Pascoal,A.G.ら¹¹⁾は0-4kgまで外部負荷量を増大し、その時の前額面挙上・肩甲骨面挙上・屈曲運動に伴う肩甲骨運動の違いについて検討した。この3つの面では肩甲骨面挙上が最も外部負荷による肩甲骨運動への影響が少ないということを述べており、今回の結果はそれを支持する結果である。

低-上方回旋群、高-上方回旋群ともに前額面・肩甲骨面挙上時の各外部負荷条件下における肩甲骨上方回旋角度への影響は類似した結果であったが、筋電図の平均振幅では低-上方回旋群と高-上方回旋群で違いが見られた。低-上方回旋群では図3-A、3-Bからわかるように棘下筋の外部負荷量の増大に伴う平均振幅の上昇率は前額面・肩甲骨面挙上ともに類似しているが、三角筋では肩甲骨面挙上に比べ前額面挙上で外部負荷量の増大に伴う平均振幅の上昇率が高くなっている。このことは外部負荷量が増大したことにより前額面挙上での三角筋の働きが肩甲骨面挙上より大きくなることを示している。一方、高-上方回旋群では図3-C、3-Dの近似線からわかるように、三角筋の筋電図の平均振幅は前額面・肩甲骨面挙上ともに類似した上昇傾向を示しているが、棘下筋の平均振幅は前額面挙上に比べ肩甲骨面挙上で高い上昇率となっている。これは、外部負荷量の増大により肩甲骨面挙上では棘下筋の働きが大きくなることを示唆

(A) 三角筋 (後面より)



(B) 三角筋 (上面より)



(C) 棘下筋 (上面より)



図4 棘下筋・三角筋の走行と収縮した際の運動の模式図

- (A) 肩甲骨を後面から見た時の三角筋活動の模式図 (a: 三角筋の運動方向, a': 三角筋が収縮した際の肩甲骨の運動方向)
- (B) 肩甲骨を上面から見た時の三角筋活動の模式図 (b: 三角筋の運動方向, b': 三角筋が収縮した際の上腕骨の運動方向)
- (C) 肩甲骨を上面から見た時の棘下筋活動の模式図 (c: 棘下筋の運動方向, c': 棘下筋が収縮した際の上腕骨の運動方向)

する結果であり、逆にいえば、前額面挙上では棘下筋の働きはあまり大きくならないということである。このように、高-上方回旋群の前額面挙上では外部荷荷が増大しても棘下筋の働きが大きくなり、相対的に三角筋の働きが優位になっているといえる。

上述したように、低-上方回旋群、高-上方回旋群ともに前額面挙上時に三角筋の働きが優位になっていたことが示唆された。そこで三角筋の運動学的特徴について考えてみると、三角筋は肩関節の外転筋として外転運動の際に大きな役割を担うが、三角筋の収縮力は肩甲骨に対しては下方回旋方向へ動かす力も持つ (図4-A)。このように三角筋には肩甲骨を下方回旋方向へ動かす作用があるため、前額面挙上時の三角筋が外転筋の中で相対的に働きが大きくなることで肩甲骨上方回旋角度が制御された可能性がある。また、三角筋が前額面挙上時に強く働いた理由は、三角筋の線維走行と運動方向が平行であるため三角筋の筋力が発揮しやすかったのではないかと考えられる (図4-B)。尚、低-上方回旋群、高-上方回旋群の三角筋・棘下筋の働きになぜこのような違いが見られたかについては今回の実験では言及できなかった。

また、両群において棘下筋はどのような外部荷荷条件においても前額面挙上より肩甲骨面挙上で働きが大きかった。これは、棘下筋の線維走行が肩甲骨面挙上時の運動方向とより平行に近いために棘下筋の筋力が発揮されやすくなったのではないかと考えられる (図4-C)。このように棘下筋は最近外転筋として注目されている⁹⁾が、前額面挙上より肩甲骨面挙上でより効率的に収縮することが明らかとなった。

おわりに

今回の研究結果より、最近外転筋として注目されている棘下筋は前額面挙上よりも肩甲骨面挙上で効率的に収縮するということが明らかとなった。また、肩関節の完全な前額面上での外転運動では外部負荷量が増大するにつれて三角筋の働きが優位となり、肩甲骨上方回旋角度が減少してしまうことが示唆された。それに比べ、肩甲骨面挙上では外部負荷量が増大しても肩甲骨上方回旋角度は減少しないことから外部負荷の影響を受けにくいことが明らかとなった。このことは、肩甲骨面挙上の方が肩甲骨を含む滑らかな上肢の挙上が可能であるということを示している。また、骨学的にも前額面挙上より肩甲骨面挙上の方がインピンジメントを起こしにくいと言われている⁶⁾。これらのことから、肩関節における種々の機能不全がある場合、肩甲骨面挙上を用いたトレーニングを行うことが肩関節の機能解剖学的視点から有用であると考えられた。

今回、筋電図の結果は各群から1例のみのデータであったため、今後症例数を増やしデータの信頼性を高めるとともに、上肢の挙上に関する他の筋との相互関係についても明らかにしていくことが必要である。

参考文献

- 1) 佐藤達夫 (2003) 「肩周辺の複雑な筋の配置を形態学的に解析する—肩甲骨の歴史的背景の理解のために—」, 理学療法 20巻 : pp. 709-718.
- 2) 高濱照, 壇順司, 國中優治, 上村龍輝 (2006) 「肩関節の機能解剖とバイオメカニクス」, 理学療法 23巻 : pp. 1581-1589.
- 3) 中村隆一, 齊藤宏, 長崎浩著: 基礎運動学 (第6版), 医薬出版株式会社, pp 203-235, 2003.
- 4) 山口久美子, 望月智之, 秋田恵一 (2008) 「棘上筋と棘下筋の上腕骨停止の組織学的検討」, 解剖学 83巻 : pp. 171
- 5) Bagg, S. T., Forrest, W. J. (1988) "A Biomechanical Analysis of Scapular Rotation during Arm Abduction in the Scapular Plane" *Am J Phys Med Rehabil*, Vol. 67 pp. 238-245.
- 6) Donald A. Neumann 著 嶋田智明, 平田総一郎訳: 筋骨格系のキネシオロジー (第1版), 医薬出版株式会社, pp 99-144, 2005.
- 7) Forte, F. C., Castro, M. P., Toledo, J. M., Rideiro, D. C., & Loss, J. F. (2009) "Scapular kinematics and scapulohumeral rhythm during resisted shoulder abduction - Implications for clinical practice" *Phys Ther Sport*, Vol. 10 : pp 105-111.
- 8) Forthomme, B., Crielaard, J. M., & Croisier, J. L. (2008) "Scapular Positioning in Athlete's Shoulder-particularities, Clinical Measurements and Implications." *Sports Med*, Vol. 38 : pp. 369-386.
- 9) Frank H. Netter 著 相磯貞和訳: ネット解剖学アトラス (第3版), 南江堂, pp 408, 2004.
- 10) McQuade, K. J., & Simbt, G. L. (1998). "Dynamic Scapulohumeral Rhythm: The Effects of External Resistance During Elevation of the Arm in the Scapular Plane" *J Orthop Sports Phys Ther*, Vol. 27 : pp. 125-133.

- 11) Pascoal, A. G., Van der Helm, F., Correia, P. P., & Carita, I. (2000) "Effects of different arm external loads on the scapula-humeral rhythm" *Clin Biomech*, Vol. 15 : pp. 21-24.

Abstract

The purpose of the present study was to clarify the relationship between scapular rotation and abductor muscle (deltoid and infraspinatus) activity during arm elevation on the frontal and scapular planes with three different external loads. The three external loads were 1) light loads consisting of active elevation against the weight of the limb (0 kg), 2) middle loads against a weight of 1 kg, and 3) heavy loads against a weight of 2 kg. The subjects were divided into two groups: a low-scapular rotation group and a high-scapular rotation group. The groups were based on the average scapular rotation angle under the 0 kg load. In addition, an electromyogram (EMG) was used to record the surface of the deltoid and infraspinatus on one subject of each group, respectively.

The results indicate that in both groups the upward rotation angle of the scapula showed a tendency to decrease as the external load increased by the frontal plane arm elevation. On the other hand, unlike the frontal plane arm elevation, the scapular plane arm elevation was not affected by the external load. The EMG of both groups suggests that the effects of the deltoid are relatively strong in the frontal plane elevation compared with the scapular plane arm elevation. The deltoid has the force of scapular downward rotation, which suggests that this force may be a factor in restricting scapular upward rotation during arm elevation.

Key Words: Scapulohumeral rhythm

External load

Deltoid muscle

Infraspinatus muscle