異なる運動肢位における肩外旋運動時の筋活動動態

八十島 崇¹⁾ 木塚 朝博²⁾ 埜口 博司³⁾ 白木 仁²⁾
向井 直樹²⁾ 下條 仁士²⁾ 宮 永 豊²⁾

ELECTROMYOGRAPHIC ACTIVITY OF SHOULDER MUSCLE AT DIFFERENT POSITIONS DURING EXTERNAL ROTATION

TAKASHI YASOJIMA, TOMOHIRO KIZUKA, HIROSHI NOGUCHI, HITOSHI SHIRAKI,
NAOKI MUKAI, HITOSHI SHIMOJO and YUTAKA MIYANAGA

Abstract

Electromyographic activity of the shoulder muscle at 20° and 90° abduction (20 Abd, 90 Abd) during external rotation was investigated in seven healthy men with no history of injury or instability of the shoulder joint.

Electromyography (EMG) was recorded using intramuscular fine-wire electrodes inserted into the M. Supraspinatus, M. Infraspinatus and M. Teres minor, and with bipolar surface electrodes on the middle and posterior parts of M. Deltoid and the upper and middle parts of M. Trapezius. To compare activity in different muscles, the integrated EMG (iEMG) activity of each muscle was normalized.

M. Infraspinatus and M. Teres minor showed significantly higher activity at both the 20 Abd and 90 Abd compared with the middle and posterior parts of M. Deltoid and upper parts of M. Trapezius. M. Supraspinatus, the middle and posterior parts of M. Deltoid, and upper and middle parts of M. Trapezius all showed a difference in activity level between the two positions.

These findings suggest that when M. Infraspinatus and M. Teres minor contribute to external rotation as a stabilizer and prime mover, consecutively, M. Supraspinatus, the middle and posterior parts of M. Deltoid, and upper and middle parts of M. Trapezius function according to the positions. Moreover, the activity of the upper and middle parts of M. Trapezius in 90 Abd should influence stabilization, adduction and upward rotation of the scapula. Therefore, we conclude that the external rotation position is closely related to shoulder muscle activity and coordination.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2003, 52 : 43~50)

key word : shoulder external rotation, position, EMG, prime mover, stabilizer

I. 緒 言

肩の外旋及び内旋といった回旋運動とは、上腕骨長軸の回旋によって生じる運動である¹⁾。また、回旋運動は、肩の運動に伴って上腕骨及び肩甲骨の位置が変化する運動肢位が変化しても遂行可能な運動である^{1~3)}。この回旋運動時の運動肢位の違いは、運動に伴う発揮トルクに影響し、特に外旋トルクは、肩関節 90° 外転位・肘

関節 90° 屈曲位で高値を示すことが報告されている^{4,5)}。

これに対し、筋電図学的に回旋運動時の運動肢位の影響を調べた研究では、静的な筋収縮様式 (Isometric Contraction) による検討^{2,6)}や、肩甲骨の運動に関与する肩甲骨周囲筋の活動までを導出していない検討⁷⁾にとどまっている。そのため、

¹⁾ 筑波大学大学院体育科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

²⁾ 筑波大学体育科学系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

³⁾ 水戸赤十字病院
〒310-0011 茨城県水戸市三の丸3-12-48

Doctoral Program in Health and Sport Sciences, University of
Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8574, JAPAN
Institute of Health and Sports Science, University of Tsukuba, 1-1-1
Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki 305-8574, JAPAN
Mito Red Cross Hospital, 3-12-48 Sannomaru, Mito-shi, Ibaraki
310-0011, JAPAN

運動肢位が肩回旋運動時の筋活動動態にもたらす影響は、十分明らかになっていないと言えない。

また、回旋運動は、投球動作⁸⁾、水泳のストローク⁹⁾に代表されるオーバーヘッドなスポーツ動作や髪をとかす、上着を着るといった日常生活の様々な動作¹⁾を遂行する上で欠くことのできない運動である。同様に臨床的側面においても、競技特性を反映した肩機能評価¹⁰⁾やより詳細な肩機能評価¹¹⁾を行うためには、様々な運動肢位で肩回旋機能を評価することが重要であると報告されている。さらに、肩機能の回復及び向上を図るには、状況に応じて運動肢位を選択して実施していく必要があると言われている¹¹⁾。

したがって、異なる運動肢位における回旋運動時の肩周囲各筋の活動動態が解明されれば、肩機能の評価、トレーニングプログラム作成等に関わる有用な基礎資料を提供できると考えられる。

そこでこの課題を解明する一端として、本研究では、回旋運動の1つである外旋運動を取り上げ、2条件の運動肢位で動的な筋収縮様式(Concentric Contraction)による外旋運動を行い、筋電図(Electromyography; EMG)によって得られた肩周囲各筋の活動から外旋運動に対する運動肢位の影響を検討した。

II. 研究 方 法

A. 被験者

被験者は、全員右利きで左右の肩関節に痛み及び既往歴を有さず、整形外科医による整形外科的テストにおいても関節動揺性等の所見を認めなかった肩機能の正常な健康男性7名(年齢 24.0 ± 1.0 歳、身長 172.9 ± 2.5 cm、体重 69.7 ± 5.5 kg)とした。事前に研究の目的と内容を説明し、実験参加の同意を得た。なお、実験は非利き肩である左肩で実施した。

B. 実験設定及び運動課題

本研究の概観を図1に示した。運動負荷装置には、等速性筋出力測定装置(Cyber 770-NORM, Cyber 社製)を用い、上肢の重量をできる限り排除するとともにCPM(Continuous Passive Mo-

Fig. 1. Experimental set up for recording EMGs, torque, target torque and direction.

tion)モードによって運動スピード(15 deg/sec)を一定に保持した。被験者の前方には、オシロスコープ(Data SYS 840, Gould 社製)を設置して画面上に被験者が発揮しているトルクと目標値(ターゲットトルク)をカラー表示し、視覚フィードバックによってトルクを一定に維持するよう指示した。

外旋運動時のターゲットトルクについては、先行研究^{12,13)}において肩周囲各筋の活動が顕著であった15 Nmに設定し、各運動肢位ともに5回ずつ試行した。また、外旋運動の運動肢位については、図2に示した20度外転位(20° Abduction; 以下, 20 Abd)及び90度外転位(90° Abduction; 以下, 90 Abd)の2条件を設定した。20 Abdは、前腕を回内外中間位、肩関節をScapula Plane上で20°外転、肘関節を90°屈曲し、この肢位を内外旋中間位として内旋60°～外旋30°の運動角度で外旋運動を行った。90 Abdは、前腕を回内外中間位、肩関節をScapula Plane上で90°外転、肘関節を90°屈曲し、この肢位を内外旋中間位として内外旋中間位～外旋90°の運動角度で外旋運

Fig. 2. The basic position used testing.

動を行った。

C. EMG 及び発揮トルク、運動角度の記録方法

EMG 導出電極には、直径 0.05 mm のワイヤー電極(双極貼合わせ電極, インターメディカル社製)及び Ag/AgCl 表面電極を用いた。被験筋には、肩周囲各筋の活動特性について検討している先行研究^{2,6,12-15)}、肩機能を論じた成書³⁾及び機能解剖学を論じた成書¹⁶⁾から、外旋運動への貢献が大きいと考えられる筋を選択した。被験者の左肩の棘上筋、棘下筋、小円筋にはワイヤー電極を挿入し、三角筋中部線維(以下、三角筋中部)、三角筋後部線維(以下、三角筋後部)、僧帽筋上部線維(以下、僧帽筋上部)、僧帽筋中部線維(以下、僧帽筋中部)には表面電極を貼付した。電極の貼付及び挿入位置は Perotto¹⁷⁾の記述に従った。なお、ワイヤー電極の挿入は 22G のカテラン針を用いて整形外科医が行い、ワイヤー電極挿入後正確に挿入されていることを確認するために徒手筋力検査(Manual Muscle Testing; MMT)を行って EMG 波形を確認した。生体アンプには、マルチテレメータ(WEB-5000, 日本光電社製)を用い、時定数 0.03 秒、高域遮断周波数 450 Hz 以上で増幅後、各筋の EMG 及び Cybex からの発揮トルク、運動方向の各出力信号をすべて同期させてデータレコーダ(SIR-1000, SONY 社製)に記録した。

D. 解析処理

データの解析は、記録したデータをサンプリング周波数 2 kHz で A/D 変換し、全波整流後、20 Abd, 90 Abd とともに計測した運動角度を 15°(1 秒)ずつ 6 区間に区切り、積分筋電値(integrated EMG; iEMG)を算出した。各筋の筋活動を比較検討するため、得られた各筋の iEMG は Kronberg et al.⁷⁾, Townsend et al.¹⁴⁾ 及び Moseley et al.¹⁵⁾の方法を参考に、各筋に対する MMT を最大努力で実施した際に得られた iEMG を最大値(100%iEMG)として相対値化し、%iEMG として示した。

E. 統計処理

各筋の %iEMG は、平均値±標準偏差で表した。また、得られた各筋の %iEMG を比較するために、各運動肢位の運動角度ごとに分散分析を行い、F 値の有意であった運動角度に関して Fisher's PLSD 法による多重比較を行った。なお、統計処理の有意水準は、5%未満とした。

Ⅲ. 結 果

A. 20 Abd における各筋の %iEMG

図 3 は、20 Abd の代表値として(A)内旋 45°~30°, (B)内旋 15°~内外旋中間位, (C)外旋 15°~30°の各運動角度における各筋の %iEMG を示したものである。

回旋筋腱板を構成する棘上筋、棘下筋、小円筋

Fig. 3. Comparison of %iEMG between shoulder muscle at 20° Abduction (20 Abd) during external rotation. (A) 45° internal rotation ~ 30° internal rotation, (B) 15° internal rotation ~ neutral position (C) 15° external rotation ~ 30° external rotation are representative of the external rotation angles. Greek in the right side of the error bar means significant with the Greek in the column. As to "(A) η ; M. Trapezius Middle", M. Trapezius Middle was significantly higher compared with M. Trapezius (ζ). Statistical significance was accepted at $p < 0.05$. Values are mean $\pm$ SD.

の %iEMG は, すべての運動角度において三角筋中部, 後部及び僧帽筋上部の %iEMG と比較して有意に高い値を示した ($p < 0.05$). 棘下筋と棘上筋の %iEMG を比較すると, 棘下筋の %iEMG は内旋 45° ~ 30° の運動角度で棘上筋の %iEMG よりも高値を示したが, 内旋 30° 位からの外旋範囲ではほぼ同程度の %iEMG を示した. 一方, 棘下筋と小円筋の %iEMG を比較すると, 棘下筋の %iEMG がすべての運動角度において有意に高い値を示していた ($p < 0.05$).

三角筋の各線維の %iEMG については, 内旋 60° ~ 30° の運動角度において三角筋中部の %iEMG が三角筋後部の %iEMG と比較して有意に高い値を示していた ($p < 0.05$).

僧帽筋中部の %iEMG は, 内旋 15° 位からの外旋範囲において三角筋後部, 僧帽筋上部の

%iEMG と比較して有意に高く, 内外旋中間位からの外旋範囲では, 三角筋中部の %iEMG と比較して有意に高い値を示した ($p < 0.05$).

B. 90 Abd における各筋の %iEMG

図 4 は, 90 Abd の代表値として (A) 内外旋中間位 ~ 外旋 15°, (B) 外旋 30° ~ 45°, (C) 外旋 60° ~ 75° の各運動角度における各筋の %iEMG を示したものである.

棘上筋, 棘下筋の %iEMG はすべての運動角度において, 小円筋の %iEMG は外旋 60° 位までの外旋範囲において, 三角筋中部, 後部及び僧帽筋上部の %iEMG と比較して有意に高い値を示した ($p < 0.05$). 回旋筋腱板の %iEMG については, 棘下筋の %iEMG がすべての運動角度において棘上筋及び小円筋の %iEMG と比較して有意に高い

Fig. 4. Comparison of %iEMG between shoulder muscle at 90° Abduction (90 Abd) during external rotation. (A) neutral position ~15° external rotation, (B) 30° external rotation ~45° external position and (C) 60° external rotation ~75° external rotation are representative of the external rotation angles. Greek in the right side of the error bar means significant with the Greek in the column. As to "(A) ζ; M. Trapezius Upper", M. Trapezius Upper was significantly higher compared with M. Deltoid posterior (ε). Statistical significance was accepted at $p < 0.05$. Values are mean $\pm$ SD.

値を示した($p < 0.05$).

また、僧帽筋中部の %iEMG は外旋 15° 位からの運動範囲において、三角筋の各線維及び僧帽筋上部の %iEMG と比較して有意に高い値を示した($p < 0.05$)。一方、僧帽筋中部の %iEMG と回旋筋腱板の %iEMG を比較すると、20 Abd での活動動態と異なり、外旋 45° 位からの外旋範囲において小円筋の %iEMG より、外旋 60° 位からの外旋範囲において棘上筋、棘下筋の %iEMG より有意に高い値を示した($p < 0.05$)。同様に、僧帽筋上部の %iEMG も 20 Abd での活動動態と異なり、三角筋中部、後部の %iEMG と比較して同程度の %iEMG あるいは有意ではないものの高い %iEMG を示した。

IV. 考 察

本研究の目的は、20 Abd, 90 Abd の 2 条件の運動肢位による外旋運動を行い、肩周囲各筋の %iEMG から外旋運動における運動肢位の影響を検討することであった。

回旋筋腱板を構成する棘上筋、棘下筋、小円筋の 3 筋の活動は、90 Abd の僧帽筋中部の活動を除いて両運動肢位とも他の肩周囲各筋の活動と比較して有意に高い値を示していた(図 3, 4)。したがって、この 3 筋の活動はこれまで報告されているとおり、上腕骨頭の前方移動を減らす肩甲上腕関節の安定化機構(stabilizer)として機能するとともに、外旋運動遂行にも大きく関与していると考えられる^{2,3,7,16,18,19}。

一方、外旋運動遂行に対するこの3筋の協調動態については、十分明らかになっていない。そこで、この3筋の協調動態について、3筋の中で最も高値を示した棘下筋を中心に検討する。棘下筋と小円筋の %iEMG は運動肢位による活動の相違を認めなかったが、両肢位ともに棘下筋の活動は小円筋の活動と比較して有意に高い値を示した(図3, 4)。小円筋は棘下筋と同様に外旋運動の主働筋(prime mover)として考えられている筋であるため^{2,3,16,20}、Jenp et al.²⁾の報告や Colachis & Strohm²⁰⁾の報告と同様に棘下筋と小円筋とが同程度の活動を示し、“functional unit”を形成して外旋運動遂行に関与するものと予想されたが、完全な一致を見なかった。両筋の神経支配は棘下筋が肩甲上神経、小円筋が腋窩神経と異なっており^{3,16)}、筋長、生理的横断面積(Physiological Cross-Sectional Area; PCSA)及び potential moment も両筋で異なる²¹⁾。そのため、これらの要因が %iEMG の顕著な差をもたらしたと考えられる。したがって、棘下筋と小円筋は、完全な“functional unit”として外旋運動に関与していると言うよりむしろ、異なる活動によって協調動態を保ちながら外旋運動に作用していると考えべきではなかろうか。

続いて、棘下筋と棘上筋の協調動態を検討する。棘上筋の機能については、先に述べた stabilizer としての機能^{2,18,19)}や、棘下筋と同様に外旋運動の prime mover として作用しているとの報告⁷⁾がある。本研究の結果、90 Abd における棘上筋の活動は棘下筋の活動と比較して有意に低い値を示していたが、20 Abd では両筋が内旋30°～外旋30°の運動角度においてはほぼ同程度の活動を示していた(図3, 4)。そのため、棘上筋の機能は運動肢位や運動角度によって変化し、特に 20 Abd では prime mover として作用している可能性がある。しかしながら、棘上筋の回旋運動への貢献には、回旋軸と棘上筋長軸との位置関係^{7,22)}も影響しており、例え両筋の %iEMG が同程度であっても、同等の役割を果たし、外旋運動の prime mover として機能していると言い切ることは難しい。いずれにしても、棘上筋の機能は運動肢位や

運動角度によって異なってくる可能性が示唆された。この筋の機能については、今後、さらに検討していく必要があるだろう。

三角筋後部の活動は、両運動肢位ともに回旋筋腱板の活動よりも低く、先行研究と同様の結果を示した(図3, 4)^{2,7,13,14)}。三角筋後部の機能については、外旋運動の prime mover を補助する筋(assistant mover)としての報告^{3,16)}の他に、棘上筋とともに上腕骨頭の安定化を図る stabilizer として作用するとの報告^{2,7)}も見られる。したがって、三角筋後部も貢献度こそ回旋筋腱板の各筋より低いものの、運動肢位に関わらず外旋運動遂行に関与するとともに関節の安定化にも作用するものと推察される。また、Kronberg et al.⁷⁾や Poppen & Walker²³⁾は、三角筋後部の stabilizer 機能が肩外転角度の増大に伴って高まることを報告しているが、本研究では三角筋後部の活動に運動肢位に対応した変化を認めなかった(図3, 4)。しかしながら、三角筋後部そのものの機能は運動肢位に応じて変化している可能性が高く、特に 90 Abd では、stabilizer 機能すなわち関節安定化に結びつく活動が増大したものと推察される。

一方、20 Abd の三角筋中部の%iEMGは、内旋60°～30°の運動角度で三角筋後部の活動と比較して高値を示していた(図3)。これまでに、三角筋中部を外旋運動に関与する筋として位置付けている記述はほとんど見当たらない²⁴⁾。しかし、三角筋中部の筋線維の一部分は肩峰背側に向かっていることから外旋運動への関与を否定することはできない。したがって、三角筋中部も 20 Abd において外旋運動に貢献している可能性があるものと推察される。

ここまで肩甲骨と上腕骨に起始と付着を持つ筋の活動について検討してきたが、これから体幹と肩甲骨に起始と付着を持つ僧帽筋上部、僧帽筋中部の活動について検討していきたい。僧帽筋上部及び中部は、ともに 90 Abd において顕著に活動していた(図4)。僧帽筋は、肩甲胸郭関節の安定化及び運動に作用する肩甲骨周囲筋であり、僧帽筋上部は肩甲骨の挙上や上方回旋に、僧帽筋中部

は肩甲骨の内転に作用すると言われている^{3,15,16)}。したがって、90 Abd で見られた僧帽筋上部、中部の顕著な活動の増大が、肩甲骨安定化の作用や上方回旋及び内転運動の方向性に変化をもたらし、肩甲骨を肩甲上腕関節の安定に最も適した位置へ移動させていると考えられる。

以上のように、外旋運動の prime mover と位置付けられる棘下筋や小円筋の活動については、運動肢位による違いを認めなかった。一方、棘上筋や三角筋中部及び後部の機能は運動肢位に対応して変化するものと推察され、肩甲骨の運動に関わる僧帽筋上部及び中部も運動肢位による活動の違いを認めた。したがって、棘下筋、小円筋が運動肢位に関わらず外旋運動の prime mover として機能するために、棘上筋、三角筋及び僧帽筋の各筋は、運動肢位に応じて活動動態や各筋との協調動態を変化させ、外旋運動遂行及び肩甲上腕関節、肩甲胸郭関節の安定化に作用していると考えられた。

V. ま と め

本研究では、肩関節に既往歴及び関節動揺性のない健康男性を対象として2条件の運動肢位(20 Abd, 90A bd)による外旋運動を行い、肩周囲各筋の活動動態から外旋運動時の運動肢位の影響について検討した。

その結果、棘下筋、小円筋は運動肢位に関わらず肩甲上腕関節の安定化を図る stabilizer として機能するとともに、prime mover として運動の中心的役割を果たしていると考えられた。棘上筋、三角筋後部も stabilizer として作用するとともに運動遂行にも関与し、両者の機能は運動肢位に対応して変化していく可能性が示唆された。三角筋中部は、20 Abd において外旋運動に貢献するものと推察された。僧帽筋上部及び中部については90 Abd で顕著に活動し、その活動は肩甲骨安定化の作用や肩甲骨の運動の方向性に大きく影響していると考えられた。これらのことから、棘下筋、小円筋が運動肢位に関わらず外旋運動の prime mover として機能するために、棘上筋、三角筋及び僧帽筋の各筋が外旋運動の運動肢位に対応して

活動動態や各筋との協調動態を変化させていると考えられた。

肩機能の評価やトレーニングプログラム作成に当たって、肩機能を司っている筋の機能や協調動態を多角的に評価し、より効果的なトレーニング肢位で強化をすることが望ましいと言われている。その中において本研究で得られた知見は、より最適なトレーニング肢位を選択する上での一助となると考えられる。今後さらに、肩周囲筋の活動動態に関する知見を深めていくために運動肢位のみならず様々な運動課題を設定し、より詳細な検討を加えていくことも必要であろう。

(受理日 平成14年10月21日)

参 考 文 献

- 1) Kapandji I. A. (荻島秀男監訳、嶋田智明訳)、カバンディ関節の生理学(I)上肢、医歯薬出版株式会社、東京、(1992)
- 2) Jenp Y-N., Malanga G. A., Growney E. S., An K-N. Activation of the rotator cuff in generating isometric shoulder rotation torque. *Am. J. Sports Med.*, (1996), **24**, 477-485.
- 3) 信原克哉. 肩—その機能と臨床—, 第3版, 肩のバイオメカニクス, 医学書院, 東京, (2001), 48-88.
- 4) Greenfield B. H., Donatelli R., Wooden M. J., Wilkes J. Isokinetic evaluation of shoulder rotational strength between the plane of scapula and the frontal plane. *Am. J. Sports Med.*, (1990), **18**, 124-128.
- 5) Soderberg G. J., Blaschak M. J. Shoulder internal and external rotator peak torque production through a velocity spectrum in differing positions. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, (1987), **8**, 518-524.
- 6) Blackburn T. A., McLeod W. D., White B., Wofford L. EMG analysis of posterior rotator cuff exercises. (1990). *Athl. Train.*, **25**, 40-45.
- 7) Kronberg M., Nemeth G., Brostrom L. Muscle activity and coordination in the normal shoulder An electromyographic study. *Clin. Orthop.*, (1990), **257**, 76-85.
- 8) Pappas A. M., Zawacki R. M., Sullivan, T. J. Biomechanics of baseball pitching A preliminary report. *Am. J. Sports Med.*, (1985), **13**, 216-222.
- 9) Pink M., Perry J., Browne A., Scovazzo M. L., Kerrigan J. The normal shoulder during freestyle swimming An electromyographic and cinematographic analysis of twelve muscles. *Am. J. Sports Med.*, (1991), **19**, 569-575.
- 10) Wilk K. E., Andrews J. R., Arrigo C. A., Keirns M. A., Erber D. J. The strength characteristics of inter-

- nal and external rotator muscles in professional baseball pitchers. *Am. J. Sports Med.*, (1993), **21**, 61-66.
- 11) 山口光圀, 筒井廣明, アスレチックリハビリテーションの進歩—肩を中心として—, (1999), *体育の科学*, **49**, 647-654.
 - 12) 木塚朝博, 山口晴信, 高松薫, 肩の低負荷トレーニングとして有効な負荷範囲と動作角度範囲の検討, *バイオメカニズム*, (2000), **15**, 213-223.
 - 13) 鈴木徳年, 木塚朝博, 埜口博司, 田中 忍, 下條仁士, 白木 仁, 向井直樹, 宮永 豊, 肩外旋運動時の負荷量の変化に伴う肩周囲筋群の活動特性, *体力科学*, (2000), **49**, 481-494.
Suzuki N., Kizuka T., Noguchi H., Tanaka S., Shimojo H., Shiraki H., Mukai N., Miyanaga Y. Electromyographic analysis of shoulder muscles during shoulder external rotation with reference to load magnitude. *Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.*, (2000), **49**, 481-494 (in Japanese)
 - 14) Townsend H., Jobe F.W., Pink M., Perry J. Electromyographic analysis of the glenohumeral muscles during a baseball rehabilitation program. *Am. J. Sports Med.*, (1991), **19**, 264-272.
 - 15) Moseley J. B., Jobe F. W., Pink M., Perry J., Tibone J. EMG analysis of the scapular muscles during a shoulder rehabilitation program. *Am. J. Sports Med.*, (1992), **20**, 128-134.
 - 16) 中村隆一, 齋藤 宏. 基礎運動学, 第5版, 四肢と体幹の運動, 医歯薬出版株式会社, 東京, (2000), 190-197.
 - 17) Perotto A. O. (田島達也監訳), 筋電図のための解剖ガイド—四肢・体幹—, 第3版, 西村書店, 東京, (1985)
 - 18) Cain P. R., Mutschler T. A., Fu F. H., Lee S. K. Anterior stability of the glenohumeral joint A dynamic model. *Am. J. Sports Med.*, (1987), **15**, 144-148.
 - 19) Lee S-B., Kim K-J., O'Driscoll S. W., Morrey B. F., An K-N. Dynamic glenohumeral stability provided by the rotator cuff muscles in the mid-range and end-range of motion A study in cadavera. *J. Bone Joint Surg.*, (2000), **82-A**, 849-857.
 - 20) Colachis S. C., Strohm B. R. Effect of suprascapular and axillary nerve blocks on muscle force in upper extremity. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, (1971), **52**, 22-29.
 - 21) Keating J. F., Waterworth P., Shaw-dunn J., Crossan J. The relative strengths of the rotator cuff muscles A cadaver study. *J. Bone Joint Surg.*, (1993), **75-B**, 137-40.
 - 22) Ihashi K., Matsushita N., Yagi R., Handa Y. Rotational action of the supraspinatus muscle on the shoulder joint. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, (1998), **8**, 337-346.
 - 23) Poppen N. K., Walker P. S. Forces at the glenohumeral joint in abduction. *Clin. Orthop.*, (1978), **135**, 165-170.
 - 24) 河上敬介, 磯貝 香, 骨格筋の形と触察法, 初版, 上肢の筋, 大峰閣, 熊本, (1998), 151-157.