

肩関節肢位保持における筋活動の逆転

橋本 祥一¹⁾, 波之平晃一郎²⁾, 藤村 昌彦²⁾

¹⁾訪問看護ステーションゆあライフ

²⁾広島大学大学院保健学研究科

(平成 23 年 1 月 21 日受付)

要旨：発揮筋力の調節は、運動単位の recruitment と rate coding の二大機構により調節されている。近年、これらの他に活動交代といわれる調節方法が報告されている。本研究では、単一の神経支配である三角筋前部線維および複数の神経支配である大胸筋に着目し、活動交代が出現するか調べることを目的とした。対象者は、本動作に影響を及ぼす要因をもたない健常男性 14 人とした。導出筋は右側大胸筋鎖骨部（鎖骨部）と大胸筋胸骨部（胸骨部）、三角筋前部線維（三角筋）とした。バタフライマシンに骨盤を固定した坐位にて、負荷に抗して測定肢位（肩関節 90° 外転位、0° 外旋位、30° 水平内転位および肘関節 90° 屈曲位）を All out まで保持させた。負荷量は、測定肢位で 3 秒間保持可能な最大負荷量の 10% とした。解析は各筋間（三角筋—鎖骨部、三角筋—胸骨部、鎖骨部—胸骨部）の逆転回数、運動持続時間および 1 分間当たりの頻度（逆転頻度）を算出した。逆転総回数の多い群（M 群）と少ない群（F 群）に分け、比較・検討した。運動終了時、全ての筋の周波数は 2 群とも低下した。M 群において、逆転頻度は有意に多く、持続時間は有意に長かった ($p < 0.05$)。各筋間の逆転回数の割合は、M 群では均等な割合を示し、F 群では偏った割合を示した。F 群においては、三角筋—鎖骨部の割合が低く、三角筋—胸骨部の割合が高かった。2 群間の三角筋—鎖骨部、鎖骨部—胸骨部の逆転回数および逆転頻度に有意差を認めた ($p < 0.05$)。逆転頻度が多い場合、運動の肢位の保持時間が延長することが示唆され、逆転が筋疲労軽減の一助となっていると思われる。これは逆転により血流量が増大し、筋疲労の軽減が生じ、運動持続時間が延長したためと推察する。

(日職災医誌, 59 : 184—188, 2011)

キーワード

筋活動交代, 大胸筋, 表面筋電図

I. はじめに

局所の筋の持続的収縮は筋疲労の原因となり、慢性疲労やその作業特有の慢性疾患を引き起こすことがある¹⁾。筋出力の調節は、主に運動単位の recruitment と rate coding の二大機構により調節されている²⁾。しかし、近年、運動負荷強度が比較的低い場合に、協働筋間で互いに補い合う現象が新たに報告されている³⁾⁴⁾。これらの報告は、主に下肢の筋についての報告であり、上肢の筋についての報告は少ない。下肢の筋は、主として姿勢保持の際に抗重力筋として働く⁵⁾。一方、上肢の筋は、巧緻性の高い手指の運動機能を最大限に発揮させるために多種多様な形態があり、複雑な調整動態および筋活動様式を示す⁶⁾⁷⁾。その中でも、大胸筋は解剖学的に大胸筋鎖骨部と胸骨部に区別されており、異なった神経根の神経支配

を受ける⁸⁾⁹⁾。さらに、運動学的には、肩関節の安定性と可動性の相反する機能を有する¹⁰⁾。そのため、同一筋内でも筋活動様式が異なると考えられる。そこで、本研究では、大胸筋が主に働く肩関節水平内転運動において、等尺性収縮を行わせ、その筋活動様式と持続時間の関係を検討することを目的とした。

II. 対象および方法

1. 対象

対象は肩関節疾患などの既往および現病歴、また本測定に影響を及ぼす要因をもたない健常男性 14 人(年齢 : 22.5 ± 2.3 歳, 身長 : 171.8 ± 4.7 cm, 体重 : 64.4 ± 8.4 kg)とした。対象者には、測定前に十分な説明を行い同意を得た。なお、本研究を行うにあたり、広島大学大学院保健学研究科心身機能生活制御科学講座倫理委員会の承認を

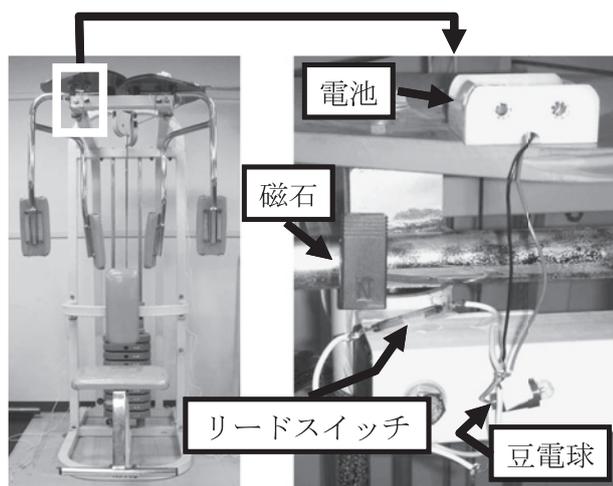


図1 バタフライマシン

得た (No.0862)。

2. 方法

1) 測定条件

筋電図は表面筋電計 (Noraxon 社, TeleMyo 2400, 米国; サンプル周波数 1.5kHz) を用いた。測定には MyoVideo 1.5.04 (Noraxon 社) を使用し、双極誘導にて筋活動電位および動画の記録を行った。なお、動画は、デジタルビデオカメラ (SONY 社, DCR-TRV27, 日本) を用い、サンプリングレート 30frame/s にて撮影した。導出筋は、右側の大胸筋鎖骨部 (以下、鎖骨部) と大胸筋胸骨部 (以下、胸骨部)、三角筋前部線維 (以下、三角筋) の3筋とした。電極には、Ag-AgCl (銀塩化銀) 表面電極 (Ambu 社, BlueSensor M-00-S, デンマーク) を用いた。導出筋の電極貼付位置は、表面筋電図マニュアルに準じた¹¹⁾。電極間距離は 35mm とした。アース電極は右肩峰に貼付した。皮膚前処理として、生体信号モニタ用皮膚処理剤 (日本光電社, スキンピュア, 日本) を用い、国際電気生理運動学会 (International Society of Electrophysiology and Kinesiology) の推奨する 5k Ω 以下になるように皮膚処理を行った。電極間抵抗値の測定は、伝導性ゲルが皮膚に浸透して通電性が改善することを期待し、皮膚処理 5分経過後に簡易テスト (エー・アンド・デイ社, デジタルマルチメータ AD-5523, 日本) を用いて行った。この際の抵抗値が 5k Ω 以下とならなかった場合、再度皮膚処理を行った。

測定を行う部屋の環境は、室温 23 $^{\circ}$ C となるようにエア・コンディショニングを設定した。

2) 等尺性最大随意収縮 (Maximum Isometric Voluntary Contraction: 以下, MIVC) の測定

鎖骨部、胸骨部、三角筋の筋活動電位を正規化するために各筋の MIVC の筋活動電位を測定した。測定肢位は、ダニエルらの徒手筋力検査法⁹⁾の肩関節水平内転運動のテスト肢位 (Normal) とし、徒手による抵抗に抗して等尺性最大随意収縮を行わせた。測定時間は 5 秒間を 1



図2 リードスイッチ

磁界が与えられると接点が入り on となる。

回実施し、その中で最大となる 1 秒間を 100% MIVC とした。

3) 測定方法

測定肢位は、体幹をバタフライマシン (図 1) の座面に骨盤を固定し、肩関節 90 $^{\circ}$ 外転位、90 $^{\circ}$ 外旋位、30 $^{\circ}$ 水平内転位、肘関節 90 $^{\circ}$ 屈曲位とした。負荷量は、バタフライマシンで 3 秒間保持可能な最大負荷量を計測し、その 10% に設定した。All out においては、肩関節水平内転 30 \pm 5 $^{\circ}$ の範囲から 3 秒以上逸脱した時点、もしくは主訴より姿勢保持困難となった時点とした。

角度設定においては、リードスイッチ (図 2) と磁石を用いて、肩関節水平内転 30 \pm 5 $^{\circ}$ の範囲で豆電球が点灯するように作製した。対象者に視覚によるフィードバックを行うため、対象者の正面に豆電球を設置した。

4) 解析方法

表面筋電図の解析には、MyoResearch 2.11.15 (Noraxon 社製) を用いた。得られた波形を全波整流化し、All out までの平均筋活動電位を基に正規化し、1 秒毎の筋活動量を算出した。その後、各組み合わせ (三角筋—鎖骨部、三角筋—胸骨部、鎖骨部—胸骨部) で筋活動量を比較した。どちらか一方の筋活動量が 5 秒以上持続して高値を示した場合、活動活発期とした。なお、他の筋が活動活発期となり、入れ代わった場合を逆転と定義し、各組み合わせの逆転回数を算出した。また、動作初期に必要な各筋の筋活動量を算出するため、開始直後 5 秒間の筋活動量の平均値を算出し、MVC で除して正規化した。

疲労を確認するため、開始直後 5 秒間と All out 直前 5 秒間の中間周波数を用いて、周波数解析を行った。なお、中間周波数は、1 秒毎に高速フーリエ変換を行うことで算出した。

群分けにおいては、逆転総回数の中央値により、回数の多い群 (以下, M 群) 7 名、少ない群 (以下, F 群) 7 名に分けた。また、各々の逆転回数を持続時間で除して、1 分間当たりの回数 (以下, 逆転頻度) を算出した。

5) 統計学的解析

統計学的解析には、JSTAT for Windows 12.6 を用いた。M 群と F 群の逆転回数、逆転頻度、持続時間および姿勢保持時の各筋の筋活動量において、正規性が認められた場合は対応のない t 検定を、認められなかった場合には Wilcoxon 符号付順位和検定を行った。なお、有意水準は 5% 未満とした。

III. 結 果

1. 周波数解析 (中間周波数の低下率)

両群の周波数低下率を表1に示す。全ての筋において、周波数が低下した。両群の全ての筋において、疲労が確認された。

2. 持続時間・逆転頻度 (図3)

持続時間および逆転頻度において、F群に比べM群が有意に高かった ($p < 0.05$)。

3. 動作初期時の各筋の筋活動量 (図4)

各筋の筋活動量においては、二群間で有意差を認められなかった。

4. 逆転総回数の内訳 (図5)

M群では、均等な割合を示し、F群では、偏った割合を示した。F群においては、三角筋—鎖骨部の組み合わせで割合が低く、三角筋—胸骨部の組み合わせで割合が高

表1 中間周波数の低下率

	M群	F群
三角筋	19.96 ± 10.08	25.81 ± 16.92
鎖骨部	27.19 ± 13.12	21.74 ± 13.49
胸骨部	12.21 ± 28.25	21.27 ± 11.16

単位: % mean ± SD

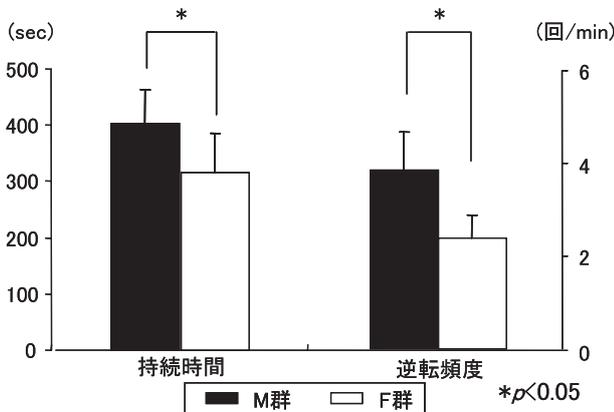


図3 持続時間・逆転頻度

かった。

5. 各組み合わせにおける逆転回数・逆転頻度 (図6 a, b, c)

三角筋—鎖骨部、鎖骨部—胸骨部において、逆転回数・逆転頻度ともにF群に比べM群が有意に高かった ($p < 0.05$)。三角筋—胸骨部において、M群で逆転回数が多い傾向がみられた ($p = 0.0505$)。逆転頻度では、有意差が認められなかった。

IV. 考 察

本研究では、逆転総回数の中央値にて2群 (M群とF群) に分けた。M群において、逆転頻度・持続時間ともに有意に高かったことから、逆転頻度が高ければ持続時間が延長することが示唆された。つまり、逆転が筋疲労の軽減の一助となっている可能性があると考えられる。

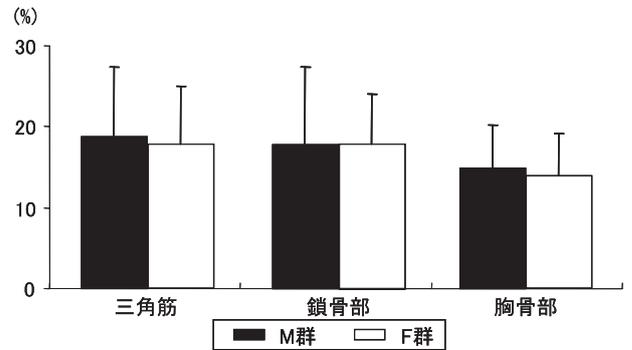


図4 動作初期時の各筋活動量 (%MVIC)

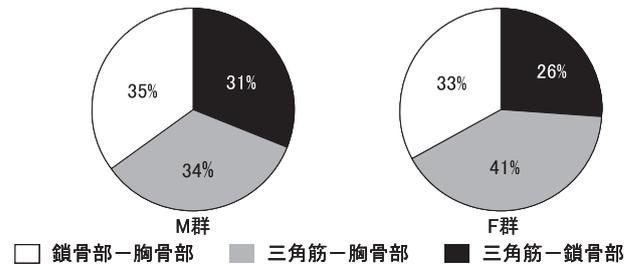


図5 逆転総回数の内訳

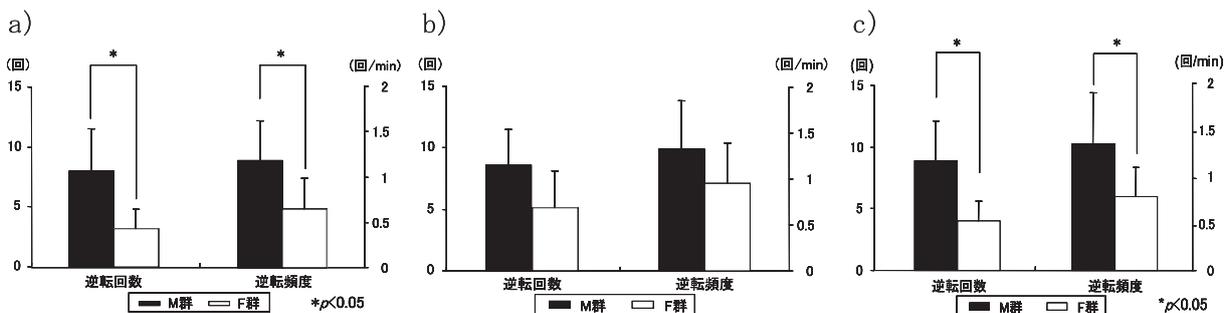


図6 各組み合わせにおける逆転回数と逆転頻度
a) 三角筋—鎖骨部 b) 三角筋—胸骨部 c) 鎖骨部—胸骨部

一般に、等尺性収縮を持続して行くと、活動筋に乳酸が蓄積され、筋疲労が生じると報告されている¹²⁾。筋疲労の軽減には、筋への酸素供給を維持することが必要である。酸素供給を維持することで、乳酸産生の増加とその酸化的除去にかかわる代謝能の低下を抑制することが重要であるといわれている¹²⁾。桐本ら¹³⁾は、下腿三頭筋間の活動交代時において、膝窩動脈血流量が増大することから、通常は、運動終了後に生じる一過性の過灌流と同様の効果を運動中にもたらしていると報告している。活動交代とは、一定強度で筋活動を持続させた場合、同一筋内の運動単位レベル、もしくは、協働筋間での筋レベルで筋活動を増減させ、筋を交代させることによって筋収縮を維持させるものである¹⁴⁾。これらのことから、逆転が活動交代と同様に、血流量を増大する可能性が考えられ、筋疲労が軽減し持続時間が延長したと推察する。

二群間で動作初期の肢位保持に必要な筋活動は変わらなかったが、逆転の総回数内訳が異なり、特に三角筋—鎖骨部と鎖骨部—胸骨部における逆転回数および逆転頻度に有意に差がみられたことから、逆転の調節の違いとその回数が肢位の保持時間に影響を及ぼすと考えられた。さらに、個々の筋間で逆転頻度が高く、かつバランスよく逆転を生じることが持続時間の延長の一助となると思われる。

文 献

- 1) 木村美子：労作性動作の筋電図学的評価。理学療法 22：1121—1126, 2005.
- 2) 倉田 博：Motor unit level における EMG. J Sports Sci 2：696—707, 1983.
- 3) 田巻弘之, 萩田 太, 竹倉宏明, 他：筋活動様式の違いが筋疲労と翌日の静的仕事に及ぼす影響。日本生理人類学会

誌 4：151—156, 2006.

- 4) 桐本 光, 田巻弘之, 北田耕司, 他：持続的な足関節底屈中における下腿三頭筋間の相補的または同期的な協働筋制御様式。日本作業療法研究学会雑誌 11：1—7, 2008.
- 5) Kapandji AI, 嶋田智明訳：カパンディー関節の生理学—下肢—原著第6版。医歯薬出版, 2006, pp 2—167.
- 6) 中村隆一, 齋藤 宏, 長崎 浩：基礎運動学 第6版。医歯薬出版, 2003, pp 203—235.
- 7) Kapandji AI, 塩田悦仁訳：カパンディー関節の生理学—上肢—原著第6版。医歯薬出版, 2006, pp 2—75.
- 8) 野村 巖編：標準理学療法学・作業療法学 解剖学 第2版。医学書院, 2004, pp 231—297.
- 9) Hislop HJ, Montgomery J, 津山直一訳：新・徒手筋力検査法。協同医書出版社, 2003, pp 104—108.
- 10) 河上敬介, 磯貝 香：「骨格筋の形と触察法」。大峰閣, 2003, pp 151—157.
- 11) 下野俊哉：表面筋電図マニュアル 基礎編。酒井医療, 2004, pp 82—83.
- 12) 宅間 豊, 岡部孝生, 宮本謙三, 他：筋休息時間の異なる高強度等尺性反復運動が活動筋の脱酸素化と乳酸代謝に及ぼす影響。土佐リハビリテーションジャーナル 2：1—7, 2003.
- 13) 桐本 光, 後藤純信, 小竹直樹, 他：静的足関節底屈持続時の筋放電活動様式と活動交代出現時の膝窩動脈血流変化。体力科学 55：393—402, 2006.
- 14) 田巻弘之, 北田耕司, 倉田 博：等尺性収縮の持続による下腿三頭筋の活動交代。体力科学 44：457—464, 1995.

別刷請求先 〒675-0160 兵庫県加古郡播磨町西野添
4-5-21-203
訪問看護ステーションゆあライブ
橋本 祥一

Reprint request:

Shoichi Hashimoto, RPT
Home-visit Nursing Station Yuaraifu, 4-5-21-203, Nishinozoe,
Harima-cho, Kako-gun, Hyogo, 675-0160, Japan

Alternate Activity of the Muscles in Maintaining Position of Shoulder Joint

Shoichi Hashimoto¹⁾, Koichiro Naminohira²⁾ and Masahiko Fujimura²⁾

¹⁾Home-visit Nursing Station Yuaraifu

²⁾Institute of Health Sciences, Faculty of Medicine, Hiroshima University

The regulation of muscular expenditure is conducted using the following two neural control mechanisms: recruitment and rate coding that are applied to motor units. In recent years, the “alternate activity” other than the above mechanisms has been reported as the method to regulate the muscular expenditure. The purpose of this study was to investigate an appearance of the alternate activity in a single nervous control of the anterior fibers of the deltoid muscles and the multiple nervous controls of pectoralis major muscles. 14 healthy males who have no medical factors affecting the motion were selected as the test subjects. The deriving muscles were presented with the clavicular head of pectoralis major muscle on the right side (clavicle), the sternum of pectoralis major muscle (sternum), and the anterior fibers of the deltoid muscle (deltoid muscle). At sitting position with the pelvis fixed on the butterfly machine, the measurement positions (90-degree shoulder abduction, 0-degree shoulder external rotation, 30-degree shoulder internal rotation, and 90-degree arm elbow) were kept against load for all-out body. The actual load was set to 10% of the maximum load that the human body could be held normally at the measurement positions for 3 seconds. In analysis, the number of reverse rotations, the duration of motion and the frequency (frequency of reverse) per minute were calculated between the muscles (“deltoid muscle-clavicle”, “deltoid muscle-sternum”, and “clavicle-sternum”). The M group with a large number of total reverses and the F group with a small number of those were divided for comparison and examination. After the completion of physical activities, the frequency of all muscles was reduced in both groups. The M group showed the significantly high frequency of reverse and the significantly long duration of motion ($p < 0.05$). Concerning the number of reverse rotations between the muscles, the M and F groups indicated the even rate and the biased rate, respectively. The F group presented its low rate between deltoid muscle and clavicle, but its high rate between deltoid muscle and sternum. There was truly a significant difference in both the number of reverse rotations and the frequency of reverse in the regions of “deltoid muscle-clavicle” and “clavicle-sternum” between the two groups ($p < 0.05$). High frequency of reverse implied that time to keep the exercise positions was extended, so that the reverse rotations was considered to be a help to reduce muscle fatigue. It is supposed that the reverse rotations increased the blood flow rate and reduced muscle fatigue to extend the duration of motion.

(JJOMT, 59: 184—188, 2011)