

上肢 Closed Kinetic Chain Exercise における肩甲骨周囲筋の筋電図学的検討 — Low Row と変法 Low Row との比較 —

齊 藤 明* 松 本 仁 美** 立 松 加 寿 子**
南 谷 晶** 花 山 耕 三*** 正 門 由 久***

要 旨

Low row (以下 LR) は、僧帽筋下部線維と前鋸筋をターゲットとした上肢 Closed Kinetic Chain Exercise である。早期リハビリテーションにおいて有効とされているが、回旋筋腱板の筋電図学的検討はなされておらず、術後早期から適応可能であるかは不明確である。本研究の目的は、LR において棘下筋を含めた肩甲骨周囲筋の筋電図学的検証を行い、術後早期より実施可能な筋活動レベルであるか、またアームスリング装着時の LR や不安定面での LR を実施し、その有用性や安全性を比較・検討することである。

健康成人12名を対象に、各 LR 実施時の僧帽筋上部線維、僧帽筋下部線維、三角筋後部線維、棘下筋、前鋸筋の表面筋電図を計測した。僧帽筋下部線維、前鋸筋は3条件とも20%MVIC 以上であった。棘下筋ではアームスリング装着時の LR のみ20%MVIC 未満であり、僧帽筋上部線維と同様に他の LR と比較して有意に低値であった。

以上より、3条件の LR いずれも僧帽筋下部線維、前鋸筋の筋力増強法として有効であることが示唆された。しかし、棘下筋の術後や外傷後早期のトレーニングとしては、棘下筋への負担が少なく、かつ肩甲骨周囲筋のインバランスの原因となる僧帽筋上部線維を抑制しながら実施できるアームスリング装着時の LR が最も効果的な方法であると考える。

I. はじめに

スポーツ理学療法を中心に下肢の運動療法では、Closed Kinetic Chain Exercise (CKC Ex.) が一般的に導入されている。一方、上肢の運動療法においても CKC Ex. の報告¹⁻⁸⁾があり、肩甲骨周囲筋の同時収縮による協調性機能や固有感覚機能の回復に有効とされるが、報告数は少ない。

これまで肩関節周囲筋では、回旋筋腱板機能の重要性が提唱され、その単収縮に着目したトレーニング^{9,10)}が多く報告されている。しかし近年、肩甲骨周囲筋も注目されている。これらの機能低下は肩甲上腕リズムの破綻や肩関節外転時の肩峰下腔の狭小化、回

旋筋腱板の機能低下の原因となり、特に肩甲骨固定筋である僧帽筋下部線維や前鋸筋は肩甲骨機能の key muscle⁵⁾とされている。上肢 CKC Ex. である low row (LR) は、僧帽筋下部線維と前鋸筋をターゲットとしたトレーニング^{4,5)}であり、Kibler ら⁵⁾は筋電図学的検証により早期リハビリテーションにおいて有効であるとしている。また Smith ら¹¹⁾は、アームスリング装着下での肩甲骨周囲筋の筋力増強トレーニングを実施し、術後や外傷後早期よりトレーニングが可能であると報告している。しかし、LR の先行研究においては回旋筋腱板の筋活動が示されておらず、またアームスリング装着時の LR の報告もないため、腱板断裂修復術後など術後早期から適応可能であるかは不明確

* 秋田大学大学院医学系研究科保健学専攻理学療法学講座

** 東海大学医学部付属病院診療技術部リハビリテーション技術科

*** 東海大学医学部専門診療学系リハビリテーション科学

Key Words: Closed Kinetic Chain (CKC)
肩甲骨周囲筋
筋電図

である。

また下肢の CKC Ex.においては、固有感覚受容器や inner muscle の活動性向上を目的にバランスボード上など不安定面でのトレーニングが用いられている。上肢の CKC Ex.においても medicine ball などを用いた不安定面での push up や bench press などの報告^{2,7,8)}が散見される。しかし肩甲骨周囲筋の筋活動に関しては、高まるとする報告や変化しないとの報告があり、一致した見解は得られていない。

そこで本研究の目的は、LR において棘下筋を含めた肩甲骨周囲筋の筋電図学的検証を行い、早期リハビリテーションより実施可能な筋活動レベルであるかを検討することである。また術後早期の固定時期を想定したアームスリング装着時の LR や不安定面での LR を実施し、その筋活動量より筋力増強トレーニングとしての有用性や安全性を比較・検討することである。

II. 対 象

対象は健常成人12名（男性6名、女性6名）の利き手12肢とし、上肢に整形外科疾患の既往のある者、半年以内に頸部や肩関節に疼痛や外傷があった者は除外した。年齢、身長、体重の平均値および標準偏差はそれぞれ 26.8 ± 4.8 歳、 164.8 ± 8 cm、 58.6 ± 12.4 kgであった。

本研究は東海大学医学部附属病院臨床研究審査会（受付番号 09R114号）の承認を得て実施した。なお、対象者には研究目的や意義を十分に説明し、書面にて同意を得た。

III. 方 法

1. 測定条件

測定条件は上肢 CKC Ex.である LR, アームスリング装着時の LR (low row with arm sling : LRS), およびボールを用いた不安定面での LR (low row with hand on a ball : LRB) の3条件とした。測定開始肢位は Kibler ら⁹⁾の方法に基づき、立位、肩関節屈曲0度にて、LR は手掌を後方に向け固定した台の端に母指球を接触させた(図1)。LRS では肩関節内旋位、肘関節屈曲90度、前腕回内外中間位にてアームスリングを装着し、肘頭内側を台の端に接触させた(図2)。LRB では不安定面としてソフティボール(直径16cm ; Valley 社)を使用し、手掌と壁の間にボールを挟んだ(図3)。被験者にはこの開始肢位より脊柱伸展、肩関節伸展、肩甲骨内転・下制を行いながら最大努力で台またはボールを後方に押すよう指示した。

2. 表面筋電図

表面筋電図は表面筋電計 Telemetry 2400 (Noraxon 社製)を用いて計測し、被検筋は僧帽筋上部線維、僧帽筋下部線維、三角筋後部線維、棘下筋、前鋸筋とした。表面筋電図を双極誘導するために、銀-塩化銀電極2個を各筋の走行に沿って電極間距離20mmで貼り付けた。各筋の筋電図導出部位は、Surface Electro Myo Graphy for the Non-Invasive Assessment of Muscle (SENIAM) が推奨¹²⁾する位

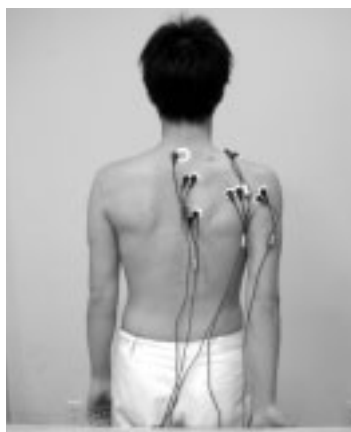


図1 Low row exercise
立位、肩関節屈曲0度にて手掌を後方に向け固定した台の端に母指球を接触



図2 アームスリング装着時の low row exercise
肩関節内旋位、肘関節屈曲90度、前腕回内外中間位にてアームスリングを装着し、肘頭内側を台の端に接触



図3 ボールを用いた low row exercise
ソフティボールを手掌と壁の間にボールを挟む

表 1 電極貼付位置と MVIC の測定肢位

被 検 筋	電 極 貼 付 位 置	測 定 肢 位
僧帽筋上部線維	肩峰と第 7 頸椎を結ぶ線の中央	端座位にて肩甲骨挙上
僧帽筋下部線維	肩甲棘内側部と第 8 胸椎のライン上の 2/3 のところで、第 8 胸椎と肩峰を結ぶライン上	腹臥位、scapular plane 上125度屈曲より上肢挙上
三角筋後部線維	肩峰後部より 2 横指のところで、肩峰と小指を結ぶライン上	腹臥位、肩関節外転90度、肘関節屈曲90度、内外旋中間位より肩関節水平外転
棘下筋	肩甲棘の下方で棘下窩上	端座位、肩関節屈曲0度、内外旋中間位より肩関節外旋
前鋸筋	肩甲骨下角のレベルで腋窩下方の肋骨上	端座位、肩関節屈曲125度より肩関節屈曲

置(表1)とし、アース電極は第7頸椎棘突起とした。なお、皮膚の電気抵抗が10k Ω 以下となるようにスキップコンピューターで十分に処理した。

3. 手 順

各条件での筋電図計測に先駆けて、各筋の最大等尺性収縮(maximal voluntary isometric contraction; MVIC)時の筋活動量を測定した。測定肢位は Ekstrom ら¹³⁾および Kelly ら¹⁴⁾の方法を参考に設定し(表1)、5秒間MVICを維持し、3回計測した。各測定間の休憩は2分とした。

次いで被験者には各LRに関する説明を与え十分に練習を行った後、各条件とも5秒間最大努力にて実施し3回計測した。3条件の測定順は無作為とし、3回の測定間の休憩は立位にて2分間、各条件間の休憩は座位で3分間とした。

4. データ解析

表面筋電図は周波数帯域20~500Hz、サンプリング周波数1500Hzにてパーソナルコンピュータ(Dell社製)に取り込み、解析は解析ソフト・マイオリサーチXP(Noraxon社製)を用いて行った。

得られた生波形は、root mean square(時定数100msec)にて平滑化処理を行い、開始後および終了前の1秒間を除いた中間の3秒間を解析対象とした。各筋とも3回の平均振幅求め、MVIC時の平均振幅で除して正規化し、%MVICを算出した。

5. 統計学的解析

統計学的解析にはSPSS 15.0Jを使用し、各筋の筋活動量を3条件間で比較するため、一元配置分散分析

を用いた。また有意差の認められた筋に対してTukey多重比較検定を行い、いずれも有意水準は危険率1%未満とした。

IV. 結 果

各種LRにおける各筋の%MVICを表2に示した。僧帽筋上部線維ではLRSがLR、LRBと比較して有意に低値であった。僧帽筋下部線維では3条件とも20%MVIC以上であるが、LRSでは他の2条件よりも有意に高い値を示した。三角筋後部線維および棘下筋では、LRSがLR、LRBよりも有意に低値を示した。また棘下筋においてLRSのみ20%MVIC未満であった。前鋸筋では3条件間に有意差は認められなかった。

V. 考 察

肩甲骨周囲筋の機能低下は、肩甲上腕リズムの破綻¹⁵⁾や肩関節外転時における肩峰下腔の狭小化¹⁶⁾、棘上筋の筋活動低下¹⁷⁾の原因とされている。これらの筋は術後や外傷後の安静により、正常な筋機能や神経系の調節能低下が認められる¹¹⁾ことが知られており、リハビリテーション初期から筋力増強トレーニングが必要である。特に僧帽筋下部線維と前鋸筋は、肩甲骨の下方への固定をコントロールする筋として極めて重要¹⁸⁾である。上肢CKC Ex.であるLRは、この2筋をターゲットとしたトレーニングであり、また関節可動域や関節への負荷が制限されているため、早期リハビリテーションにおいても安全であるとされている^{4,5)}。しかし、これまでの報告では回旋筋腱板の筋活動については示されておらず、またアームスリング装着時の

表 2 各種 low row における肩甲骨周囲筋の%MVIC

	LR	LRS	LRB	p 値
僧帽筋上部線維	12.55 ± 7.06*	6.55 ± 2.79*#	13.49 ± 5.67#	p < 0.01
僧帽筋下部線維	32.06 ± 14.38*	46.05 ± 20.83*#	24.49 ± 11.99#	p < 0.01
三角筋後部線維	78.19 ± 23.72*	34.66 ± 17.66*#	76.20 ± 22.02#	p < 0.01
棘下筋	31.72 ± 7.33*	18.10 ± 7.16*#	31.54 ± 8.06#	p < 0.01
前鋸筋	38.85 ± 30.35	30.97 ± 19.27	40.06 ± 34.70	N.S.

平均値 ± 標準偏差, 単位: %

LR: Low row, LRS: アームスリングを装着時の low row, LRB: ボールを用いた low row

Tukey 多重比較: Low row との有義差 : * : p < 0.01

ボールを用いた low row との有義差 : # : p < 0.01

LR の報告も見当たらないため、これらの筋の術後や外傷後早期より適応可能かどうかは不明である。

今回、LR における棘下筋を含めた肩甲骨周囲筋の筋活動を計測した。加えて術後や外傷後の固定時期を想定したアームスリング装着時の LR とボールを用いた不安定面での LR を実施し、筋活動量よりその有用性や安全性を比較、検討した。

1. 僧帽筋下部線維および前鋸筋

LR のターゲット筋である僧帽筋下部線維および前鋸筋は、3 条件とも 20%MVIC 以上であった。筋電図学的検討では、20%MVIC 未満の筋活動量は臨床的な意義は小さく、20~40%MVIC の筋活動量が筋力増強運動として最適¹⁹⁾とされている。したがって本研究で用いた 3 つの LR は、僧帽筋下部線維 24.49~46.05%MVIC、前鋸筋 30.97~40.06%MVIC であり、いずれの LR もこの 2 筋の筋力増強法として有効であると示唆される。しかし Kibler ら⁵⁾の報告では、僧帽筋下部線維 15.4%MVIC、前鋸筋 28.2%MVIC であり、前鋸筋のトレーニングとして臨床的に有用であるとしている。また筋活動量も我々の結果と比較すると小さい傾向にある。今回、LR の実施方法や口頭指示は Kibler らの方法⁵⁾に基づいて実施したが、強度に関しては具体的に言及されていない。そこで我々は 3 条件の強度を統一するためいずれも最大努力にて行った。このことが各筋の筋活動量の違いとして現れたのではないかと考える。

3 条件間の比較では、僧帽筋下部線維は LRS が他の 2 条件より有意に筋活動量が高値であった。この要因としては、三角筋後部線維の筋活動量も LRS のみ顕著に低下していることから、アームスリングにより上肢のモーメントアームが短くなり、肩関節伸展よりも肩甲骨内転・下制が強調されたためと推察される

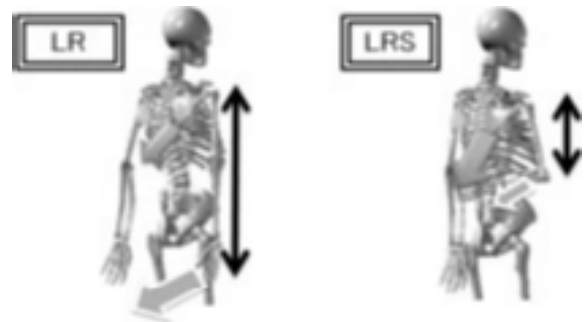


図 4 Low row とアームスリング装着時の low row のモーメントアーム

黒の両矢印: 上肢のモーメントアーム

上の矢印: 肩甲骨の内転・下制の強さ

下の矢印: 肩関節伸展の強さ

(図 4)。一方、前鋸筋では 3 条件間に有意差が認められなかった。したがって、僧帽筋下部線維をターゲットした筋力増強の方法としては LRS が最も効果的であると示唆される。

2. 棘下筋および僧帽筋上部線維

棘下筋の筋活動量は、LR 31.72%MVIC、LRS 18.10%MVIC、LRB 31.54%MVIC であった。LRS のみ 20%MVIC 未満であり、他の 2 条件と比較して有意に低値であった。術後や外傷後の急性期においては、20%MVIC 未満の筋活動レベルが安全^{11,12)}とされており、本研究の結果から LRS では、棘下筋修復術後においても安全に僧帽筋下部線維や前鋸筋の筋力増強トレーニングが可能であると考えられる。一方 LR および LRB は術後早期からの導入には適しておらず、亜急性期以降の筋力増強期の導入として有用であると思われる。僧帽筋上部線維も同様に、LRS が他の 2 条件と比べ有意に低い筋活動量を示した。これはアーム

スリングによって、上肢の重量により肩甲帯に作用する下方への牽引力が軽減したためと考える。僧帽筋上部線維の過剰な筋活動については、肩甲骨の異常な動きを引き起こす原因²⁰⁾とされ、リハビリテーション初期においては過度の肩甲骨挙上や肩すくめは適切ではないとの報告³⁾がある。このことから LRS は、術後や外傷後早期のリハビリテーションでは好ましくない僧帽筋上部線維の過度の筋活動を抑制するため、急性期におけるより効果的なトレーニング方法であることが示唆された。

3. LR と LRB との比較

今回、LR とボールを用いた不安定面での LR (LRB) の筋活動についても測定したが、全ての筋で有意差を認めなかった。Lehman ら⁷⁾は Swiss ball を用いた不安定面での push up と安定面での push up を比較し、肩関節固定筋の筋活動量には違いがなかったとし、不安定面は個人間で同等には影響しないと述べている。一方、Oliveira ら⁸⁾は medicine ball を使用し、push up や wall push について安定面と比較している。三角筋では不安定面で有意に筋活動量が増加し、僧帽筋上部線維も不安定面での wall push で有意に高値を示したと報告している。しかし前鋸筋などの肩甲骨固定筋に関しては、有意差が認められなかった。今回得られた結果も同様であり、この要因として上肢においては下肢に比べ体重負荷量が小さいため、不安定面であっても要求される固定筋の活動量は低いことが推測される。特に我々の方法では、push up と比較しても肩関節に負荷される荷重量は小さいため、有意な差が認められなかったと考えられる。

4. 結 論

以上より、3条件の LR とも僧帽筋下部線維、前鋸筋の筋力増強法としては有効であるが、棘下筋の術後や外傷後早期のトレーニングとしては、棘下筋への負担が少なく、かつ肩甲骨周囲筋のインバランスの原因となる僧帽筋上部線維を抑制しながら実施できる LRS が最も効果的な方法であると考えられる。

5. 研究の限界

今回、表面筋電図を用いた研究であったため、回旋筋腱板では棘下筋の筋活動しか調査することができなかった。棘上筋や肩甲下筋においては LRS でも 20% MVIC 以上の筋活動が生じている可能性もあり、この点は本研究の限界である。また被験者は健康成人であり、実際に肩甲骨周囲筋の筋力低下や神経系の異常を有する患者で行った場合には、ターゲットとする筋

自体を収縮させることができないことも予測される。今後、早期リハビリテーションにおける臨床応用を図るために、更なる検討が必要であると考えられる。

謝 辞

本研究にあたり、実験にご協力いただきました対象者の皆様、病院関係者の皆様に心より感謝申し上げます。

文 献

- 1) Dillman CJ, Murray TA, et al.: Biomechanical differences of open and closed chain exercises with respect to the shoulder. *J Sport Rehabil* 3: 228-238, 1994
- 2) Wilk KE, Arrigo CA, et al.: Closed and open kinetic chain exercise for the upper extremity. *J Sport Rehabil* 5: 88-102, 1996
- 3) Kibler WB, Livingston B: Closed-chain rehabilitation for upper and lower extremities. *J Am Acad Orthop Surg* 9: 412-421, 2001
- 4) Kibler WB, McMullen J, et al.: Shoulder rehabilitation strategies, guidelines, and practice. *Orthop Clin North Am* 32: 527-538, 2001
- 5) Kibler WB, Sciascia AD, et al.: Electromyographic analysis of specific exercises for scapular control in early phase of shoulder rehabilitation. *Am J Sports Med* 36: 1789-1798, 2008
- 6) Uhl TL, Carver TJ, et al.: Shoulder musculature activation during upper extremity weight-bearing exercise. *J Orthop Sports Phys Ther* 33: 109-117, 2003
- 7) Lehman GJ, Gilas D, et al.: An unstable support surface does not increase scapulothoracic stabilizing muscle activity during push up and push up plus exercises. *Man Ther* 13: 500-506, 2008
- 8) Oliveira AS, Carvalho MM, et al.: Activation of the shoulder and arm muscles during axial load exercises on a stable base of support and on a medicine ball. *J Electromyogr Kinesiol* 18: 472-479, 2008
- 9) 山口光國: 肩の深部筋トレーニングの理論と実際 腱板機能に着目して. *徒手理学療法* 3: 35-38, 2003
- 10) 筒井廣明, 山口光國・他: 筋電図を用いた腱板訓練の有用性の検討. *肩関節* 19: 310-316, 1995
- 11) Smith J, Dahm DL, et al.: Electromyographic activity in the immobilized shoulder girdle

- musculature during scapulothoracic exercises. Arch Phys Med Rehabil 87:923-927, 2006
- 12) 下野俊哉：表面筋電図マニュアル基礎編. 酒井医療, 東京, 2004
 - 13) Ekstrom RA, Soderberg GL, et al.: Normalization procedures using maximum voluntary isometric contractions for serratus anterior and trapezius muscles during surface EMG analysis. J Electromyogr Kinesiol 15:418-428, 2005
 - 14) Kelly BT, Kadrmas WR, et al.: Optimal normalization test for shoulder muscle activation: An electromyographic study. J Orthop Res 14:647-653, 1996
 - 15) Paletta FA, Warner JP, et al.: Shoulder kinematics with 2-plane x-ray evaluation in patients with anterior instability or rotator cuff tear. J Shoulder Elbow Surg 6:516-527, 1997
 - 16) Hinterwimmer S, Eisenhart-Rothe RV, et al.: Influence of adducting and abducting muscle forces on the subacromial space width. Med Sci Sports Exerc 35:2055-2059, 2003
 - 17) Kibler WB, Sciascia AD, et al.: Evaluation of apparent and absolute supraspinatus strength in patients with shoulder injury using the scapular retraction test. Am J Sports Med 34:1643-1647, 2006
 - 18) Bagg SD, Forrest WJ, et al.: A biomechanical analysis of scapular rotators during arm abduction in the scapular plane. Am J Phys Med Rehabil 67:238-245, 1988
 - 19) DiGiovine NM, Jobe FW, et al.: An electromyographic analysis of the upper extremity in pitching. J Shoulder Elbow Surg 1:15-25, 1992
 - 20) Cools AM, Dewitte V, et al.: Rehabilitation of scapular muscle balance. Am J Sports Med 35:1744-1751, 2007

Electromyographic analysis of scapular muscles during closed
kinetic chain exercise for the upper extremity
— Comparison between low row and modified low row —

Akira SAITO* Hitomi MATSUMOTO** Kazuko TATEMATSU**
Akira NANYA** Kozo HANAYAMA*** Yoshihisa MASAKADO***

* Department of Physical Therapy, Graduate School of Health Sciences, Akita University

** Department of Rehabilitation, Tokai University Hospital

*** Department of Rehabilitation Medicine, Tokai University School of Medicine

Low row (LR) is a closed kinetic chain exercise for the upper extremity that targets the upper trapezius and serratus anterior. It is effective in early rehabilitation, but the electromyographic analysis of the rotator cuff is not accomplished and it is uncertain whether we can do the exercise during the postoperative early stage. The purpose of this study is to determine whether it is the muscle activity level of scapular muscles including infraspinatus are acceptable during the postoperative early stage, and to compare utility and safety during performed LR with an arm sling and LR on an unstable base of support. The subjects were twelve healthy adults. Surface electromyograms were recorded from the upper trapezius, lower trapezius, posterior deltoid, infraspinatus, and serratus anterior muscles while performing each LR. The lower trapezius and serratus anterior were activated above 20%MVIC in all exercises. The infraspinatus was less than 20%MVIC in only LR with an arm sling, and it is significantly lower in amplitude than other LRs as well as the upper trapezius.

From this study, it is possible that all of LRs are effective methods for improving muscular strength of the lower trapezius and serratus anterior. During the acute postoperative or postinjury period of infraspinatus, the LR with an arm sling was the most effective method because the load to the infraspinatus is less and restraining muscle activation of the upper trapezius can cause an imbalance of the scapular muscles.