原 著 論 文

急速な下顎随意運動に伴う胸鎖乳突筋の 共同筋活動に関する研究

第2報 開口運動時に認められた予測的頭位調節機構について

長砂 孝* 田中 昌博 川添 堯彬
森川 正章 松本 真二

Postural Synergy of Sternocleidomastoid Muscle for Control of Head Position
during Ballistic Voluntary Jaw Movements

Part 2 Activity of Anticipatory Postural Adjustment for Head Position during Jaw Opening

Takashi Nagasuna*, Masahiro Tanaka, Takayoshi Kawazoe,
Masaaki Morikawa and Shinji Matsumoto

Abstract : Postural adjustments and voluntary movement appear to be parts of the same motor program. Anticipatory postural movements should result from muscular functional synergies selected from a pre-evaluation of the perturbative aspects of the forthcoming movement. The present study was designed to investigate the relationship between anticipatory postural activities of the sternocleidomastoid muscle (SCM) and peripheral processes associated with execution of the voluntary movement. When subjects executed wide jaw opening as rapidly as possible at the acoustic signal, the following results were obtained :

1. Relations between firing latencies of the SCM and reaction time (RT) were highly significant. However, firing latencies of the SCM had no relation with motor time (MT).
2. Anticipatory postural period of SCM's activities which preceded the burst of Da had no correlation with opening distance, opening velocity, and MT. These results suggested that anticipatory postural activities of SCM were not associated with peripheral processes of voluntary rapid jaw opening.

Key words : sternocleidomastoid muscle, postural synergy, jaw opening, motor program

大阪歯科大学歯科補綴学第2講座（主任：川添堯彬教授）

*大阪歯科大学大学院歯学研究科歯科補綴学専攻（指導：川添堯彬教授）

Dept. of Fixed Prosthodontics, Osaka Dental University
(Chief : Prof. Takayoshi Kawazoe)

*Osaka Dental University Graduate School, Major in Prosthodontics (Director : Prof. Takayoshi Kawazoe)

平成5年7月6日受付

I. 緒 言

随意運動に伴う姿勢調節の共同筋活動は中枢において予めプログラムされた運動パターンであり、これは

予測的姿勢調節 (anticipatory postural adjustment)¹⁾と呼ばれている。また、Zattara ら²⁾は運動力学的解析から、姿勢調節の筋活動は上肢の屈曲のような意図的運動によってもたらされる姿勢バランスの乱れに対抗するように、慣性力に対して前もって備える働きをしていると報告した。

著者らは、前報にて³⁾、顎機能時における頭位の制御機構を解明すべく、頭位の保持に関与するといわれている胸鎖乳突筋⁴⁾を対象として、急速な下顎随意運動時の活動様相について検討してきた。そして、急速な随意開口運動時において胸鎖乳突筋に頭位調節のための共同筋活動を確認した。今回は、顎機能時における運動プログラム制御を解明する足がかりとして、胸鎖乳突筋に認められた頭位調節のための共同筋活動と末梢における運動発現機構との関連性について検討した。

II. 研究方法

1. 測定装置および運動課題

両側の顎二腹筋前腹 (Da), 胸鎖乳突筋 (SCM) を対象筋とした。筋電位は、Ag/AgCl 皿状表面電極を用い、電極間距離が 20 mm となるように、各筋の筋線維の走行に沿わせて貼付し、双極性に導出した。対象筋からの筋電位を、生体アンプ (日本光電, AB-621 G) を用い時定数 0.03 秒、高域遮断周波数を 1 kHz として増幅した後、データレコーダ (TEAC, XR-510) に収録した。なお、貼付部位の皮膚表面角質層を剝離させ、アルコールによる清掃を徹底することによってインピーダンスの低下を図った。下顎運動の記録を、マンディブラーキネジオグラフ (Myo-tronics, MKG-K 6) を用いて、筋電位と同時に収

図 1 ブロック図

録した (図 1)。

運動課題としては、被験者をヘッドレストのない椅子に座らせ、下顎安静位からの最大開口運動を行わせた。ブザー音による単刺激を合図に、可能な限りすばやく行うように指示した。なお、刺激を与える前には言葉にて予告を与え、予告から刺激信号までの時間間隔をランダムとした。被験者それぞれに 10 試行ずつ行わせ、刺激信号から運動が開始するまでの時間 (reaction time; 以下 RT と略す) が 400 ms 以内の試行を解析の対象とした。

2. 被験者

顎口腔系に異常を認めない、個性正常咬合を有する健常男子 10 名 (24~27 歳) から、全試行において胸鎖乳突筋が顎二腹筋前腹の活動開始に先行して活動を開始した 5 名³⁾を被験者とした。

3. 測定項目

各試行について、RT、刺激信号から顎二腹筋前腹の筋活動が開始するまでの筋電図反応時間、胸鎖乳突筋の筋活動が開始するまでの筋電図反応時間、および動筋 (顎二腹筋前腹) の活動開始から開口運動が開始するまでの時間 (motor time; 以下 MT と略す) の測定を行った。また、開口量 d 、および最大開口位に達するまでの時間 t の測定を行い、開口速度 v の算出を行った (図 2)。

図 2 計測項目

音刺激 (stimulus) から胸鎖乳突筋 (SCM)、動筋 (agonist) の活動が開始する (EMG-onset) までの時間 (筋電図反応時間; EMG-RT), および動筋の活動が開始してから実際の運動が開始するまでの時間 (motor time; MT), 開口量 (d), 運動の開始から開口位に達するまでの時間 (t)

III. 結 果

1. 胸鎖乳突筋と顎二腹筋前腹の筋電図反応時間の相関、および顎二腹筋前腹の筋電図反応時間と RT との相関について

各被験者において、胸鎖乳突筋の筋電図反応時間と

顎二腹筋前腹のそれとの相関係数、および顎二腹筋前腹の筋電図反応時間と RT との相関係数を求めたところ、それぞれ 0.982~0.999, 0.993~0.998 となり、いずれも高い相関を得た (図 3, 4)。

図 3 筋電図反応時間からみた胸鎖乳突筋と顎二腹筋の関係

EMG-RT of SCM: 刺激信号から胸鎖乳突筋の筋活動が開始するまでの筋電図反応時間

EMG-RT of Da: 同様に顎二腹筋前腹の筋電図反応時間

図 4 顎二腹筋の筋電図反応時間と RT との関係

EMG-RT of Da: 刺激信号から顎二腹筋の筋活動が開始するまでの筋電図反応時間

RT: 刺激信号から運動が開始するまでの時間

図 5 胸鎖乳突筋の筋電図反応時間と RT との関係

図 6 胸鎖乳突筋の筋電図反応時間と MT との関係

MT: 顎二腹筋の活動開始から開口運動が開始するまでの時間

2. 胸鎖乳突筋の筋電図反応時間と RT ならびに MT との相関

胸鎖乳突筋の筋電図反応時間と、RT ならびに MT それぞれとの相関係数を求めたところ、RT とは $0.971 \sim 0.998$ と高い相関を得たが、MT とは $-0.542 \sim 0.305$ と低い相関となった (図 5, 6)。

3. 予測的頭位調節時間と開口量ならびに開口速度との相関

顎二腹筋前腹の活動開始に対する胸鎖乳突筋の活動開始の先行時間、すなわち予測的頭位調節時間 (anticipatory postural adjustment time for head positioning) と、開口量ならびに開口速度それぞれの相関係数を求めたところ、開口量とは $-0.191 \sim 0.495$ 、開口速度とは $-0.502 \sim 0.334$ と、いずれも低い相関となった (図 7, 8)。

図 7 予測的頭位調節時間と開口量 (d) との関係

AT: 顎二腹筋の活動開始に対する胸鎖乳突筋の活動開始の先行時間 (予測的頭位調節時間)

図 8 予測的頭位調節時間の開口速度 (d/t) との関係

4. 予測的頭位調節時間と MT との相関

予測的頭位調節時間と MT との相関係数を求めたところ、 $-0.555 \sim 0.543$ と低い相関となった (図 9)。

IV. 考 察

Angel ら⁵⁾は、反応動作における一側上肢外転時の三角筋と対側外側腹筋の活動潜時に差がみられないことから、対側外側腹筋の活動は三角筋活動に伴う共同

筋活動であると仮定した。脳性麻痺アテトイド型の患者においても、意図的運動時にはこの共同筋活動はあるが、不随意運動では別個の筋活動をみせることから、この種の姿勢調節の共同筋活動は随意運動の際にプログラムされたとみなされている。

Lee¹⁾は、立位で、一側上肢を音刺激に対してできるだけ速く前方挙上させた時、応答肢と同側の大腿二頭筋の活動が三角筋の活動に先行して起こることから、同運動時における大腿二頭筋の活動を予測的姿勢調節活動であると報告した。また、Cordo ら⁶⁾は、立

図 9 予測的頭位調節時間と MT との関係

位支持面に対する外乱と上肢運動の条件を変化させながら下腿筋群の活動を観察し、下腿筋群の活動は体幹の傾きにより誘発されたものでないことを示した。一方、筋が他動的に伸展された際に生ずる比較的短潜時の伸長反射は、それ自体外乱に対する補償能力が小さいとされている⁷⁾。したがって、随意運動における姿勢の制御には、運動遂行に際して乱された姿勢の反射による再調節とは別の経路で、より積極的な姿勢調節機構がフィードフォワード的に駆動されていることが考えられる⁸⁾。

そこで本研究では、顎機能時の頭位調節機構においても中枢プログラムが関与しているか否かを明らかにするために、急速な開口運動時における動筋（顎二腹筋）と胸鎖乳突筋の活動について比較検討を行い、さらに末梢性の運動発現機構との関連性についても検討した。

1. 予測的頭位調節時間について

Lee¹⁾、小宮山ら⁸⁾の報告では、動筋の活動潜時とそれに先行する姿勢筋の活動潜時の差は約 20 ms であり、本研究の結果（平均 8.4 ms）よりも大きな値を示した。これは上肢前方挙上運動の方が開口運動よりも大きな外乱を招くことによると推察する。

2. 顎二腹筋の筋電図反応時間との相関について

Lee¹⁾は、急速上肢挙上動作時に認められる姿勢筋の活動が動筋の活動および身体運動以前に起こるこ

と、動筋および姿勢筋の活動潜時の相関が高いことなどから、反応（reaction）ではなくプログラムされたものであると推察している。

そこで本研究では、全試行において胸鎖乳突筋が顎二腹筋の活動開始に先行して活動を開始した被験者 5 名について、胸鎖乳突筋と顎二腹筋の筋電図反応時間の相関、および顎二腹筋の筋電図反応時間と刺激から運動が開始するまでの時間（RT）との関係について検討したところ、いずれも高い相関を得た。これは、胸鎖乳突筋の活動開始が顎二腹筋の活動開始と、顎二腹筋の活動開始が運動の開始と密接に関連していることを示しており、胸鎖乳突筋の活動は急速な随意最大開口運動の一構成要素であることを示唆するものである。したがって、動筋の活動に先行する胸鎖乳突筋の活動もまた Lee らの報告¹⁾と同様、中枢でプログラムされた共同筋活動による予測的頭位調節機構ではないかと推察する。

3. RT ならびに MT との相関について

RT は、刺激から動筋の筋活動開始までの時間（premotor time : PMT）と動筋の活動開始から運動が開始するまでの時間（MT）とに分けられる。そして、前者は運動発現の中枢過程を、後者は末梢過程を反映するといわれている⁹⁾。全試行において胸鎖乳突筋が顎二腹筋の活動開始に先行して活動を開始した被験者 5 名において、胸鎖乳突筋の筋電図反応時間は RT ならびに PMT（すなわち顎二腹筋の筋電図反応

時間)との間には高い相関を得たが、MTとは有意な相関を得なかった。これは顎二腹筋に先行する胸鎖乳突筋の活動が、運動開始までの時間に強く関連し、顎二腹筋が運動を発現させる過程とはあまり関係していないことを意味している。したがって、頭位調節のための共同筋活動は、運動発現機構における末梢過程の時間的要素とあまり関連していないことが示唆された。

4. 予測的頭位調節時間と開口量、開口速度ならびに MT との相関について

動筋(顎二腹筋)の活動開始に先行する胸鎖乳突筋の活動はプログラムされていることが示唆された。にもかかわらず、Lee¹⁾の結果と同様、両筋の潜時の差にはばらつきが認められた。そこで、全試行において胸鎖乳突筋が顎二腹筋の活動開始に先行して活動を開始した被験者5名において、予測的頭位調節時間と末梢性運動発現機構との関係について検討したところ、開口量ならびに開口速度とはいずれも有意な相関を得なかった。また、MTとの間にも有意な相関を得なかった。これは、予測的頭位調節時間が運動発現機構における末梢過程の時間的要素、およびその結果として生じる運動の性状とあまり関連していないことを示すものである。各筋活動潜時の間隔にばらつきが生じる原因として、多少の姿勢動揺が末梢入力を通じて運動ニューロンの興奮性を変動させ、筋活動のタイミングに影響を及ぼす可能性があることが報告されている¹⁰⁾。したがって、本研究においても、予測的頭位調節時間がばらつく原因に頭位の動揺や傾斜など何らかの末梢性感覚情報が関与していることが考えられるが、今後さらにパラメータを増やし検討する必要があると考えられる。

運動プログラムとは過去の経験(すなわち運動学習)に基づき、姿勢調整と運動を生じさせる中枢神経系内部の通信であり、意図的運動に伴う姿勢変化に必要な共同筋活動もプログラムされるといわれている¹¹⁾。今回、急速な随意最大開口運動時に認められた動筋の活動に先行する胸鎖乳突筋の活動は、予め中枢でプログラムされた共同筋活動による予測的頭位調節機構であることが推察され、意図した運動を敏速に、かつ円滑に遂行するように機能しているものと考えられる。

本運動時に、全試行において予測的頭位調節機構が認められたのは5名であった。Christensenら¹²⁾は日

常あまり行われ運動においては中枢における memory engramが発達していない、すなわち運動学習が行われていないために円滑な筋活動パターンが得られない場合があるという報告を行っている。本研究において用いた急速随意最大開口運動課題も日常あまり行われ運動であると思われる。したがって、頭位調節のための共同筋活動が確実に中枢においてプログラムされている被験者が少なかったと推察される。

運動プログラムは、運動行動発現のメカニズムにおいて一方の極をなし、反射と対峙するものである。しかし、反射のように先天性に備わっているというのではなく、経験や練習による学習によって後天的に獲得するものである¹³⁾。予測的頭位調節機構の発現傾向の差は、学習量の差を反映しているのではないかと考える。また、随意運動にとって刺激の役割をなしているのは、時間的に運動行動に先行する行為や動作の結果についてのイメージである⁹⁾。結果に対するイメージが異なれば応答としての随意運動の運動発現機構にも差が生じる可能性がある。つまり、予測的頭位調節機構の発現には、被験者の実験への協力度や体調なども影響することが推察される。

顎機能時における運動プログラムの詳細なる存在意義については今後さらに検討を重ねていく所存ではあるが、顎機能時における反射以外の運動制御機構の存在を明らかにすることは、顎機能異常の発現機序を解明する上で重要であると考えられる。

V. 結 論

急速な随意開口運動を行わせた際に、全試行において胸鎖乳突筋が顎二腹筋の活動開始に先行して活動を開始した被験者5名について検討したところ、

1. 胸鎖乳突筋の筋電図反応時間は、顎二腹筋の筋電図反応時間、刺激信号から運動が開始するまでの時間(RT)それぞれとの間に高い相関を得たが、動筋(顎二腹筋前腹)の活動開始から運動が開始するまでの時間(MT)との相関は低かった。

2. 顎二腹筋の活動開始に対する胸鎖乳突筋の活動開始の先行時間(予測的頭位調節時間)は、開口量、開口速度、ならびにMTそれぞれとの間に低い相関を示した。

3. 以上の結果から、動筋(顎二腹筋)に先行して現れた胸鎖乳突筋の活動は、急速随意開口運動の一構成要素、すなわち頭位調節のための共同筋活動である

ことが確認された。この予測的頭位調節のための中枢プログラムは末梢の運動発現過程と関連していないことが示唆された。

文 献

- 1) Lee, W.A. : Anticipatory control of postural and task muscles during rapid arm flexion, *J Motor Behavior*, 12 : 185~196, 1980.
- 2) Zattara, M. and Bouisset, S. : Posturo-kinetic organisation during the early phase of voluntary upper limb movement. 1 Normal subjects, *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 51 : 956~965, 1988.
- 3) 長砂 孝, 田中昌博, 川添堯彬ほか : 急速な下顎随意運動に伴う胸鎖乳突筋の共同筋活動に関する研究 第1報 咀嚼筋との活動開始時期の比較について, *補綴誌*, 37 : 1232~1237, 1993.
- 4) 河野正司, 吉田恵一, 小林 博ほか : 咬合機能時にみられる胸鎖乳突筋の活動様相, *補綴誌*, 31 : 764~769, 1987.
- 5) Angel, R.A. and Eppler, Jr., G.W. : Synergy of contralateral muscles in normal subjects and patients with neurologic disease, *Arch Physiol Med Rehabil*, 48 : 233~239, 1967.
- 6) Cordo, P.J. and Nashner, L.M. : Properties of postural adjustments associated with rapid arm movements, *J Neurophysiol*, 47 : 287~302, 1982.
- 7) Diener, H.C., Dichgans, J. and Bootz, F. : Early stabilization of human posture after a sudden disturbance : Influence of rate and amplitude of displacement, *Experimental Brain Research*, 56 : 126~134, 1984.
- 8) 小宮山伴与志, 笠井達哉 : 上肢拳上反応動作に伴う大腿および腰部筋群の筋放電開始順序, *姿勢研究*, 9 : 15~23, 1989.
- 9) 中村隆一, 斎藤 宏 : 臨床運動学, 129~149, 医歯薬出版, 東京, 1992.
- 10) Schmidt, R.A. : A schema theory of discrete motor skill learning, *Psychol Bull*, 82 : 225~260, 1975.
- 11) 中村隆一, 斎藤 宏 : 基礎運動学, 102~126, 医歯薬出版, 東京, 1992.
- 12) Christensen, L.V., Carr, A.B. and Donegan, S.J. : Observations on the motor control of brief teeth clenching in man, *J Oral Rehabil*, 18 : 15~29, 1991.