原 著 論 文

最大随意努力を伴う下顎の水平的等尺性運動時の顎筋力

吉松 正 鳥巢 哲朗 山邊 芳久
野口 和子 橋本 信行 藤井 弘之

Jaw Muscle Forces in Horizontal Isometric Jaw Movements with Maximum Voluntary Efforts

Tadashi Yoshimatsu, Tetsuro Torisu, Yoshihisa Yamabe,
Kazuko Noguchi, Nobuyuki Hashimoto and Hiroyuki Fujii

Abstract: Jaw muscle forces in horizontal isometric jaw movements with maximum voluntary efforts were evaluated in fifteen healthy male participants (mean age: 24.7 years) in the postures of sitting upright with headrest, without headrest and supine. Horizontal jaw muscle forces were registered with intraoral force transducer. Force data were analyzed with ANOVA statistically. The results were as follows:

1. The maximum horizontal forces depended on the directions of the jaw movements (posteriorly pull: mean $\pm$ S.D.; 16.3 ± 13.3 kgf > posterolaterally pull: 11.0 ± 6.0 kgf $\approx$ anterolaterally push: 10.7 ± 6.0 kgf $\approx$ anteriorly push: 10.2 ± 6.9 kgf, $p < 0.0001$). However, no significant effects were found between the postures.
2. It seems that the results will give us the fundamental data to assess the horizontal jaw function.

Key words: horizontal jaw muscle forces, maximum, postures, human

I. 緒 言

「口」は摂食, 情報伝達および環境整備などさまざまな仕事を行っている¹⁾。これらの仕事は主に顎筋のほか, 顔面や頸・肩・背部の筋の微妙な協調活動によって遂行されていると考えられる。

従来より, 垂直的な下顎運動時の顎筋機能に関する研究は広範にわたって行われているが, 水平的な下顎運動時の顎筋機能に関する研究は少なく, 当該運動機能にはいまだ不明な点が多い。

われわれは, 下顎の水平的等尺性運動を解析し, 当該負荷運動を咬合機能の評価に利用するための基礎的研究として, 下顎の水平的等尺性運動時の不快症状, 顎筋筋電図, 顎筋力, 頸・肩・背部筋筋電図に関する報告²⁻⁷⁾を行って

きた。

本研究の目的は, 下顎の水平的等尺性最大随意運動時の顎筋力の大きさを測定することである。

II. 実験方法

1. 被験者

被験者は, 顎咬合機能系に特記すべき異常が認められず咬頭嵌合位が安定した, 平均年齢 24.7 歳の健康成人男子 15 名である (表 1)。

2. 負荷運動および姿勢位

負荷運動課題は, 咬頭嵌合位付近での下顎の水平的等尺性運動を最大随意努力で行うことである。負荷運動の種類は, 下記の装置を用いて行う下顎前方押し出し, 後方牽引, 前側方押し出し, 後側方牽引の 4 種類, 負荷運動時の被験者の姿勢位は, 直立座位ヘッドレストなし, 直立座位ヘッドレストあり, 仰臥位の 3 種類とした。これらを組み合わせた 12 種類 (4 運動方向 $\times$ 3 姿勢位) の負荷運動の試行

長崎大学歯学部歯科補綴学第二講座 (主任: 藤井弘之教授)
Department of Removable Prosthodontics, Nagasaki University
School of Dentistry (Chief: Prof. Hiroyuki Fujii)
平成 11 年 1 月 6 日受付

順位はランダムとした。

3. 顎筋力の記録

下顎の水平的等尺性運動時の顎筋力の測定は、従来から教室で使用している顎筋力測定装置^{2,3,6,7)}を用いた(図1)。被験者の上顎歯列上にレジンシーネを、下顎歯列上にメタルフレームを作製した。下顎フレームには、下顎歯と強固に連結するためにクラスプを設置した。また、当該フレームの左右小臼歯部のほぼ中央部に、ストレンゲージを付着したリン青銅板をレジンで固定した。リン青銅板は、下顎の前方押し出しあるいは後方牽引力測定時には咬合平面および矢状面と垂直に、前側方押し出しあるいは後側方牽引力測定時には咬合平面および側方限界運動路と垂直になるように設置した。上顎シーネの押し出しおよび牽引側口蓋部には、可撤性金属ピンを挿入、固定するための中空性金属鞘をその長軸がリン青銅板と垂直になるようにレジンで固定した。金属ピンの長さは咬頭嵌合位付近で下顎のリン

青銅板と接触するようにあらかじめ調整し、負荷運動の種類ごとにピンを付け替えた。なお、装置装着時の咬頭嵌合位からの咬合挙上量は、中切歯部で約4mm以内であった。

4. データの収集および分析

導出した顎筋力は、データレコーダーに記録した後、リナグラフペーパー上に再生した。分析時点は、顎筋力曲線がプラトーになった時点と、その後の4秒間を1秒ごとに4時点、計5時点の筋力を計測し、その平均値を当該条件における最大顎筋力の代表値とした^{3,7)}。

各条件ごとに得られた顎筋力値は、以下の統計モデルによって分析した⁸⁾。

$$\text{Total} = \mu + I_i + P_j + D_k + P_j \times D_k + e$$

μ : mean

I_i : individuals, $i=15$

P_j : postures, $j=3$

D_k : directions, $k=4$

III. 実験結果

下顎の水平的等尺性運動時の顎筋力の変動に有意な影響を与えた因子は、個人差(I)に関する要因を除くと、顎運動方向(D)のみであった(表2, 図2)。

下顎運動方向別にみた顎筋力の大きさは、下顎前方押し出し運動時 10.2 ± 6.9 kgf, 後方牽引運動時 16.3 ± 13.3 kgf, 前側方押し出し運動時 10.7 ± 6.0 kgf, 後側方牽引運動時 11.0 ± 6.0 kgf で、後方牽引運動時の顎筋力は他の3方向時の当該値より有意に大きかった ($p < 0.0001$)。

また、水平的等尺性顎筋力に対する姿勢位の有意な影響は認められなかった(表2)。

表1 Age and sex distribution of subjects
被験者の年齢および性別分布

Age in years		Sex	
Range	Mean	Female	Male
19-30	24.7	0	15

図1 Apparatus for jaw muscle force measurements metallic sheath a, b, c, d : use in anteriorly push, posteriorly pull, anterolaterally push and posterolaterally pull force measurements respectively

顎筋力測定装置

金属鞘 a ~ d : a : 前方押し出し力測定用, b : 後方牽引力測定用, c : 前側方押し出し力測定用, d : 後側方牽引力測定用

表2 Summary of the analysis of variance for horizontal jaw forces
水平的顎筋力の分散分析の要約

SV	df	MS	F'	P'
Individuals (I)	14	466.24	11.16	<0.0001
Postures (P)	2	1.24	—	—
Directions (D)	3	361.03	8.64	<0.0001
P × D	6	4.06	—	—
e	154	41.77		
Total	179			

SV : source of variation, df : degree of freedom, MS : mean square, F' : variance ratio (F values), P' : probability of the null hypothesis (P values)

図2 The effects of directions ($p < 0.0001$) in the model were illustrated. Vertical bar shows confidence limits at 95% (± 2.55)
 水平的顎筋力に対する運動方向の効果

IV. 考 察

1. 実験方法について

下顎の等尺性前方および側方運動は、被験者の手でオートガイ部および下顎角付近を固定して等尺性前方および側方運動を行う方法がある⁹⁾。この方法には、簡便でいつでも行えるという利点はあるが、評価は主観的で、下顎後方牽引運動が困難であり、運動の方向を規定しにくいなどの欠点もあり、本実験では自家製の顎筋力測定装置を使用した。

2. 下顎の水平的等尺性運動時の顎筋力について

臨床では、下顎の水平的な等張性運動機能が、ゴシックアーチ描記装置やME器械などを用いて記録した下顎運動曲線の観察によって評価されている。しかし、下顎の水平的な等尺性運動機能に関する資料はきわめて少ない。

本研究結果から下顎の水平的等尺性運動時の最大顎筋力は、運動方向によって異なり、下顎後方牽引力が他の3方向への水平力より有意に大きいことがわかった(図2, $p < 0.0001$)。すでに Marklund ら¹⁰⁾は下顎の最大前方押し出し力は平均約5.8 kgf、後方牽引力は約3.1 kgf、右側方押し出し力は約3.1 kgf、左側方押し出し力は約3.7 kgf、Clark ら^{11,12)}は最大後方牽引力および前方押し出し力はそれぞれ 17.9 ± 4.1 kg および 3.5 ± 2.1 kg、佐藤ら³⁾は下顎の側方押し出し力は8.7 kgf、中村ら⁴⁾は下顎の前方押し出し力および後方牽引力はそれぞれ10.9および12.0 kgf、著者ら⁵⁾は下顎の後側方牽引力は10.0 kgfであると報告している。彼らが報告した値は、それぞれ異なる

被験者群を対象にして求められたもので、力の大きさを直接対比することはできないが、後方牽引力が最も大きな値を示している点で本研究結果に一致する。これまでに、下顎の水平的等尺性運動時の顎筋力を前方押し出し、後方牽引、前側方押し出し、後側方牽引の4方向に分けて、運動時の顎筋力を検討した研究はなく、本研究結果は下顎の水平的運動機能を評価するための基礎的資料となりうると考えられる。

形態的にみても、下顎の等尺性前方押し出しおよび後方牽引運動時の顎筋力および左右咬筋・側頭筋後部筋電図活動を同時記録した中村ら⁴⁾の報告からみても、側頭筋後部は後方牽引力に大きく関与していることは明らかである。また、外側翼突筋下頭は下顎の等尺性前方および側方押し出し運動時の主働筋であることが筋電図学的に示されている¹³⁾。

下顎の水平的等尺性運動持続時に誘起される疼痛の程度や部位別にみた疼痛の発現頻度の分布は、運動方向に依存することが知られている²⁾。すなわち“下顎後方牽引時には、下顎前側方運動時と比べて、頬骨弓前下方部の疼痛の程度および発現頻度が軽減し、下顎底後方部および後頸・肩部の疼痛が増強した。そして下顎前方押し出し運動は、これら両運動の特徴を兼ね備えたストレスを咀嚼系に与えた”。各部の耐疼痛閾値に差はあるとしても、これらのことは下顎の水平的等尺性運動時、側頭筋後部および外側翼突筋以外にも運動方向に依存して活動する筋が存在することを示唆していると思われる。実際、咬筋や側頭筋の筋電図活動は顎運動の方向によって影響を受け、この影響は筋の部位によって異なることが知られている^{14,15)}。

麻酔ウサギにおいて、皮質性に誘起された顎運動時の咀嚼力はγ系を介して自動的に調節されていることが示されている¹⁶⁾。ヒト顎筋内の筋紡錘数は、側頭筋が最も多く、次いで咬筋、内側翼突筋の順であるが、いわゆる開口筋とされている外側翼突筋にも数は少ないが存在することが確認されている¹⁷⁾。下顎の随意的な水平力も筋紡錘を介する調節系が関与していると思われる。

3. 下顎の水平的等尺性運動時の顎筋力に影響を与える因子

顎筋力に影響を与える因子として、筋力発現に参加する顎筋筋線維の収縮特性、筋断面積、筋長や筋の走行などの生理学および解剖学的因子¹⁸⁾、性差、人種差、年齢層などの被験集団因子、運動課題に対する理解度や覚醒状態、注意などの運動心理学的因子¹⁹⁾などの他に使用した装置および姿勢位の影響が考えられる。

1) 装置の影響

これまでに、健常者群の下顎の等尺性水平力を測定した報告で使用されている測定装置には以下に示すいくつかの差異がある。本研究結果も含めて研究者間で当該力の値に

差が生じた原因として、計測装置の構造の違いが考えられる。

(1) 歯根膜への力の伝達方法

Marklund ら¹⁰⁾や Clark ら^{11,12)}は、装置を上・下顎に固定するためにレジシンシーネを用い、装置の安定化あるいは不快感の軽減のためにシーネ内面を仮着セメント¹⁰⁾やシリコン印象材^{11,12)}で裏装している。本研究では、下顎にはメタルフレームを作製して歯とリジッドに装置を固定し、負荷運動時の装置の安定性を高め、顎筋力を効果的に装置に伝達するよう努めた。このような顎筋力を装置へ伝達する方法の差異は、歯根膜情報の量や質を変えることになる。麻酔動物では、歯への機械的刺激は咀嚼筋に対し興奮性あるいは抑制性の応答を引き起こすこと²⁰⁻²²⁾、咀嚼筋の応答は刺激を加える歯の部位²⁰⁾や方向²²⁾で異なること、またヒトでは、歯の麻酔で最大咬合力は40%低下すること²³⁾、歯への機械的刺激の咬筋活動に対する影響は、刺激速度の違いや前負荷の有無によって興奮性か抑制性かが決まること²⁴⁾、歯の刺激方向により歯根膜求心性情報特性は異なること²⁵⁾などが知られている。以上の報告は、装置の固定に参加した歯の数や部位、装置を介して歯に伝えられる力の方向、速度および大きさの違いが下顎の等尺性水平力の大きさの違いの一因となっている可能性を示唆している。

一方、Hidaka ら²⁶⁾は、麻酔ウサギの皮質性に誘起されたりズミカルな運動中、上下臼歯間に大きさや固さの異なるストリップを挿入したときの顎筋活動および咬合力を測定した実験から、歯根膜情報は歯への負荷開始時の咀嚼力の quick buildup に貢献するが、咀嚼中のピーク力には多くの影響がないであろうと考えている。Trulsson ら²⁷⁾も、ヒト切歯部歯根膜情報のほとんどは1 N以下の小さな力レベルでの顎筋力の調節に関与することを報告している。本研究では最大顎筋力を分析の対象としたが、彼らの報告を参考にすれば、最大顎筋力発揮に至るまでの顎筋力の調節の仕方に装置の構造の差異が影響を与える可能性もある。

(2) 咬合高径の影響

Clark ら^{11,12)}の研究で用いられた装置装着時の開口距離は15 mm以内で、本実験時の4 mm以内よりも約10 mm高い。

咬合高径の変化によって最大噛みしめ力値が異なることは以前から知られているが、この原因として分子レベルでの筋収縮機構の関与や力調節の効率化に対する筋紡錘求心性情報の影響²⁸⁾が考えられており、顎筋力の測定にもこれらの効果が及ぶことは十分に考えられる。

(3) 測定位置の影響

Marklund ら¹⁰⁾は口外法で顎筋力を測定したが、本実験では口内法で装置の受圧部を前後的にも左右的にも歯列弓のほぼ中央に位置づけた。

垂直的噛みしめ力の大きさは、前方歯部より後方歯部のほうが大きいことが知られており、これは第三類でこの理論で説明されている²⁹⁾。これらのことから下顎の側方力発現時、前後的な測定位置が異なれば支点から重点までの距離が異なり、結果として重点における力の大きさ、すなわち計測される下顎の側方力の大きさが異なる可能性がある。

2) 姿勢位の影響

本研究では、顎筋力に対する姿勢位の有意な影響は観察されなかった。設定した姿勢位のなかには、緊張性顎反射や迷路反射を誘起しうる姿勢位を含んでいる⁶⁾。また、麻酔モルモットにおいて一側の咬筋運動ユニットの活動は体幹の対側への静的傾斜時に増加すること³⁰⁾、ヒトにおいて座位と仰臥位の両姿勢間で安静時³¹⁾や咀嚼時³²⁾の咀嚼筋活動および顎運動パターンや口の大きさ弁別能等が異なること³²⁾、体幹に対する頭位を変化させると咀嚼筋活動パターンが変化すること³³⁾など、姿勢反射が顎筋活動や顎運動を変化させることを示す多くの報告や、頭位変化によって最大顎筋力が変化するのは舌骨の位置変化によるという報告もある³⁴⁾。

鳥巢⁷⁾は、+60°位から-90°位の間の6姿勢位における下顎の随意的な最大後方牽引力を測定し、姿勢位間には有意差がなかったと報告している。この点で彼の結果と本研究結果は一致している。姿勢反射は上位中枢によって修飾されており³⁵⁾、最大随意収縮を課題とした鳥巢や本実験条件下では、随意努力に伴う強い意志の力が反射の効果を打ち消したものと考えられることができる。

今後、当該力持続の身体への影響等も含めて、下顎水平運動機能を臨床的に評価するための基礎的研究を、さらに多方面から検討する必要がある。

V. 結 論

健康成人男性被験者15名を対象とし、種々の姿勢位における下顎の水平的等尺性最大随意運動時の顎筋力を測定し、以下の知見を得た。

1. 下顎の水平的等尺性顎筋力に有意な影響を与えた因子は、下顎運動方向の主変動因子のみで、姿勢位に関する主変動因子および交互作用の有意な影響はなかった。

2. 下顎運動方向別にみた顎筋力の大きさは、下顎前方押し出し運動時10.2±6.9 kgf、後方牽引運動時16.3±13.3 kgf、前側方押し出し運動時10.7±6.0 kgf、後側方牽引運動時11.0±6.0 kgfで、後方牽引運動時の顎筋力は他の3方向時の当該値より有意に大きかった(p<0.0001)。

3. 本研究結果は、下顎の水平的運動機能を評価するための基礎的資料であると考えた。

稿を終えるにあたり、本研究に参加し、ご協力をいただいたボランティアの方々、および長崎大学歯科補綴学第二講座の方々に謝意を表します。

本論文の一部は、第8回顎関節研究会(1987年7月4日、新潟県民会館)、第17回日本脳波・筋電図学会学術大会(1987年11月14日、京都伝統産業会館)、日本補綴歯科学会総会第81回学術大会(1989年5月26日、長野県民文化会館)で発表した。研究の一部は文部省科学研究費(課題番号63480432)によった。

文 献

- 1) 藤井弘之. 「かむ」と「噛む」. 長崎大学生命問題研究会編, 現代の生命像 226-240, 福岡: 九大出版会, 1993.
- 2) 藤井弘之. 顎筋の収縮と痛み—水平的下顎運動の影響—. 長崎大学歯学部附属病院 TMJ チームアプローチ年報 3: 9-18, 1986.
- 3) 佐藤博信, 藤井哲則, 中村 司ほか. ヒト下顎の側方押し出し運動と顎筋筋電図. 補綴誌 30: 895-902, 1986.
- 4) 中村 司, 野口和子, 佐藤博信ほか. ヒト下顎の前方および後方力と顎筋筋電図. 補綴誌 29: 1195, 1986.
- 5) 吉松 正, 山邊芳久, 前崎 正ほか. ヒト下顎の側方牽引力と顎筋筋電図. 補綴誌 30: 1221, 1986.
- 6) 吉松 正. 種々の姿勢位における下顎の等尺性水平運動時の顎・肩・背部の筋活動. 補綴誌 34: 157-166, 1990.
- 7) 鳥巢哲朗. 姿勢位が下顎等尺性後方牽引運動に伴う顎・肩・背部筋活動に及ぼす影響. 補綴誌 37: 75-85, 1993.
- 8) 石川 馨, 米山高範. 分散分析法入門 7-136, 東京: 日科技連, 1985.
- 9) 吉松 正, 藤井弘之, 熱田 充ほか. 新しい授業科目「顎咬合機能学」での実習. 日歯教誌 12: 201-205, 1997.
- 10) Marklund G, Molin C. Horizontal isometric muscle forces of the mandible A comparative study of subjects with and without manifest mandibular pain dysfunction syndrome. Acta Odontol Scand 30: 97-115, 1972.
- 11) Clark GT, Adler RC. Retrusive endurance, fatigue and recovery of human jaw muscles at various isometric force levels. Arch Oral Biol 32: 61-65, 1987.
- 12) Clark GT, Adler RC, Lee JJ. Jaw pain and tenderness levels during and after repeated sustained maximum voluntary protrusion. Pain 45: 17-22, 1991.
- 13) 内田慎爾. 下顎の等尺性前方および側方力の発現に関する筋電図学的研究. 補綴誌 34: 480-491, 1990.
- 14) Blanksma NG, Van Eijden TM. Electromyographic heterogeneity in the human temporalis muscle. J Dent Res 69: 1686-1690, 1990.
- 15) Blanksma NG, Van Eijden TM, Weijs WA. Electromyographic heterogeneity in the human masseter muscle. J Dent Res 71: 47-52, 1992.
- 16) Morimoto T, Nakamura O, Ogata K et al. Autoregulation of masticatory force in the anesthetized rabbit. In: Morimoto T, Matsuya T, Takada K editors, Brain and Oral Functions 115-124, Amsterdam: Elsevier, 1995.
- 17) 窪田金次郎. 咀嚼筋の筋紡錘. 東京医歯大顎研編, 顎運動とそのメカニズム 13-22, 東京: 日本歯科評論社, 1976.
- 18) 猪飼道夫編. 身体運動の生理学 9-53. 東京: 杏林書院, 1973.
- 19) 麗 信義, 工藤孝幾, 伊藤政展. 運動行動の心理学, 東京: 高文堂出版社, 1989.
- 20) Appenteng K, Lund JP, Séuin JJ. Intraoral mechanoreceptor activity during jaw movement in the anesthetized rabbit. J Neurophysiol 48: 27-37, 1982.
- 21) Sessle BJ, Gurza SC. Jaw movement-related activity and reflexly induced changes in the lateral pterygoid muscle of the monkey. Arch Oral Biol 27: 167-173, 1982.
- 22) Funakoshi M, Amano N. Periodontal jaw muscle reflexes in the albino rat. J Dent Res 53: 598-675, 1974.
- 23) Lund JP, Lamarre Y. The importance of positive feedback from periodontal pressoreceptors for voluntary isometric contraction of jaw closing muscles in man. J Biol Buccale 1: 345-351, 1973.
- 24) Türker KS, Yang J, Brodin P. Conditions for excitatory or inhibitory masseteric reflexes elicited by tooth pressure in man. Arch Oral Biol 42: 121-128, 1997.
- 25) Trulsson M, Johansson RS, Olsson KÅ. Directional sensitivity of human periodontal mechanoreceptive afferents to forces applied to the teeth. J Physiol 447: 373-389, 1992.
- 26) Hidaka O, Morimoto T, Masuda Y et al. Regulation of masticatory force during cortically induced rhythmic jaw movements in the anesthetized rabbit. J Neurophysiol 77: 3168-3179, 1997.
- 27) Trulsson M, Johansson RS. Forces applied by the incisors and roles of periodontal afferents during food-holding and biting tasks. Exp Brain Res 107: 486-496, 1996.
- 28) 森本俊文. シンポジウム—生理的立場から見た咬合—. 日矯歯誌 53: 382-387, 1994.
- 29) 覚道幸男. 床義歯の生理学 36-39, 東京: 学研書院, 1980.
- 30) Tolu E, Pugliatti M. The vestibular system modulates masseter muscle activity. J Vestibular Res 3: 163-171, 1993.
- 31) Lund JP, Nishiyama T, Møller E. Postural activity in the muscles of mastication with the subject upright, inclined, and supine. Scand J Dent Res 78: 417-424, 1970.
- 32) 高橋知敬. 姿勢変化の咀嚼および嚥下機能に及ぼす影響. Jpn J Oral Biol 24: 133-145, 1982.
- 33) 藤田直輝. 咀嚼筋緊張に関する筋電図学的研究. 補綴誌 17: 259-274, 1973.
- 34) Hellsing E, Hagberg C. Change in maximum bite force related to extension of the head. Eur J Orthod 12: 148-153, 1990.
- 35) 本間三郎. 感覚と運動 194-207, 東京: 中外医学社, 1969.

著者連絡先: 吉松 正

〒852-8588 長崎県長崎市坂本 1-7-1

TEL 095-849-7693