原 著 論 文

咀嚼および間歇的かみしめ運動における 咬筋 EMG の経時的活動変化

川野 晃 奥田 昌義 岡田 正傳 西崎 宏
兼平 治和 前田 照太 江藤 隆徳 井上 宏

Electromyographic Studies on Continuous Gum Chewing and Periodic Clenching

Akira Kawano, Masayoshi Okuda, Masatsugu Okada, Hiroshi Nishizaki,
Harukazu Kanehira, Teruta Maeda, Takanori Etoh and Hiroshi Inoue

Abstract : Eight healthy male subjects were asked to unilateral gum chewing continuously for 30 min and other five subjects were asked to periodic clenching to the signals monitored on the oscilloscope for the same time. The signals were consisted of the three kinds of durations (500 ms, 1 s, 2 s) and interval of 500 ms. The force of clenching was as same as chewing. Surface EMG was picked up from a masseter muscle on the side of chewing.

No significant changes were shown in EMG activity and mean frequency during gum chewing through the experiments. On periodic clenching, EMG activity strikingly decreased in 5 min and mean frequency was down significantly in 30 min, of which tendency was clearer in long time durations. These findings suggested that the fatigue was not appeared in gum chewing for 30 min and it was appeared for a long time in periodic clenching as compared with gum chewing.

Key words : electromyography, masseter muscle, chewing, clenching, fatigue

I. 緒 言

咀嚼筋特に咬筋では等尺性収縮による持続的かみしめを行うことにより、短時間でパワースペクトルの左偏(周波数の低下)が起こり筋疲労の徴候がみられる。加藤

(1975)¹⁾は 50 kg の咬合力では 20 秒後には周波数帯域の高い部分が低下し、いわゆる Piper rhythm が発現すると報告した。また、Kroon ら (1986)²⁾は最大咬合力の 30% 以上の収縮力では、かみしめ開始直後から平均周波数の低下がみられ、その低下速度は収縮力が強くなるに従って速くなると述べ、その原因についてかみしめを行うことにより細胞内圧が高くなり、そのために血流量が減少して筋内に代謝産物が蓄積し筋疲労が発現するためであるとしている。一方、このような持続的な筋収縮に対して咀嚼運動に代表されるような間歇的な筋収縮にお

大阪歯科大学歯科補綴学第三講座
The Third Department of Prosthodontics, Osaka Dental
University
平成 2 年 12 月 3 日受付

ける筋疲労の研究はほとんど行われておらず、筋の収縮、弛緩をくり返すこのような運動においても筋疲労が発現するののかも知られていない。

そこで本研究では、咀嚼運動と、これに類似した間歇的なかみしめ運動を長時間行わせることにより、両者の咀嚼筋に与える影響、特に疲労の発現について EMG 的に比較検討することを目的とした。

II. 研究方法

被検者は自覚的、他覚的に顎関節や咀嚼筋に異常を認めず、健康な咀嚼機能を営んでいると思われる 23~28 歳の男子で、ガム咀嚼では 8 名、間歇的かみしめでは 5 名とした。

咀嚼運動では被検食品として Dentyne chewing gum 1 片を用い、十分咬み込んで軟化した状態より 30 分間連続的に習慣性咀嚼側のみで咀嚼させた。

間歇的かみしめ運動では、Digital Function Synthesizer (NF Electronic Instrument 製 DF193 型) よりの信号をブラウン管オシロスコープ (Sony Tektronix 製 5113 型) にモニターし、その信号に合せて咬頭嵌合位でのかみしめ運動を 30 分間連続的に行わせた、信号の種類は 0.5 秒かみしめた後 0.5 秒休止 (C1)、1 秒かみしめた後 0.5 秒休止 (C2)、2 秒かみしめた後 0.5 秒休止 (C3) する 3 種類とし、かみしめの強さはガム咀嚼と同程度とした。なお、3 回の試行は日を変え、順序はランダムとした。

表面 EMG は双極誘導にて習慣性咀嚼側咬筋浅部中央より導出し、日本電気三栄社製生体電気増幅ユニット 1253 型により増幅した後、データレコーダ (TEAC SR-51) に記録した。

データの分析は、運動の開始から 5 分おきに 7 session に分け、シグナルプロセッサ (日本電気三栄社製 7T17) にてサンプリングタイム 500 μ s で AD 変換し、1,024 個のデータごとに FFT 解析を行い、EMG パワースペクトルを求め、平均周波数と EMG 電位の実効値 (rms 値) を算出した。なお、データ長は咀嚼運動においては 10 ストローク分とし、かみしめ運動においては C1 では 7.5 s、C2 と C3 では 7 s とした。得られたデータは咀嚼運動では被検者 (I) と測定時期 (S) を主変動因子とし、かみしめ運動ではさらにかみしめ時間 (C) を加えて分散分析法により統計処理を行った。

図 1 ガム咀嚼と間歇的かみしめ運動における筋活動量 (rms 値) の経時変化 (I : 95% 信頼区間)

図 2 運動開始時を 100% とした時の各運動における筋活動量 (rms 値) の経時変化

III. 研究結果

1. 筋活動量 (rms 値) について

間歇的かみしめ運動においては測定時期 S に有意差を認め ($p < 0.001$), かみしめ開始時に高い電位 (85.47 μ Vrms) を示し、5 分後には 64.62 μ Vrms に減少し、その後 15 分後まで減少傾向を示し、20 分後に少し増加を示した後、また減少傾向を示した。

一方ガム咀嚼では、咀嚼開始より 40 μ Vrms 前後で一定しており、測定時期間には有意差はみられなかった (図 1)。

図 2 に各運動別の運動開始時の rms 値に対する各 session での rms 値の変化率を示した。ガム咀嚼ではやや減少を示すが 10% 以内の変化にとどまるのに対し、かみしめ運動においては C1 では 5 分後に 81.8%, 10 分後には 75.4% へと減少し、C2, C3 では 5 分後におい

図 3 ガム咀嚼と間歇のかみしめ運動における平均周波数の経時的変化

図 4 運動開始時を 100% とした時の各運動における平均周波数の経時的変化

ても 72% 前後と著明な減少を示した。

2. 平均周波数について

rms 値と同様に間歇のかみしめ運動において測定時期 S に有意差を認めた ($p < 0.05$). 運動開始より 10 分後までは 174 Hz 前後でほとんど変動せず, 15 分後から徐々に下降し始め, 30 分後には最も低い値 (164.86 Hz) を示した。

一方ガム咀嚼では 20 分後に最も高い値を示すものの, rms 値と同様 30 分間を通じて有意な差は認められなかった (図 3)。

図 4 に各運動別の平均周波数の変化率を示した。ガム咀嚼では時間が経過するに従って平均周波数がやや上昇する傾向がみられるのに対し, かみしめ運動では 15~20 分ごろから低下し始め, 25 分後, 30 分後とさらに低下する傾向を示した。この傾向は特に C3 の運動で著明であった。

IV. 考 察

1. 実験方法について

咀嚼運動を運動学的, 筋電図学的に評価する場合の被検食品としては, 従来よりチューインガムが最も多く用いられてきた³⁻⁷⁾。これは, 材質が均一であるので個人の咀嚼パターンの再現性が高く, 安定した咀嚼リズムを示し, 歯の接触状態の変化や義歯装着などによる口腔内の変化が反映されやすいからである。また, 咀嚼する時間が長くなっても質, 量があまり変化しないため, 本実験のように長時間に及ぶ咀嚼運動の検討には適当であると思われる⁸⁾。

間歇のかみしめ運動におけるかみしめ強度 (咬合力) は, 咬合力の違いにより咀嚼筋にかかる負荷が変化するのでガム咀嚼時と同等とするのが良いと考えた。ガム咀嚼における咀嚼力は三浦ら (1954)⁹⁾, 田中 (1973)¹⁰⁾ らによって報告されており, 同咀嚼時の筋電図積分値も多数報告されている^{11,12)} が, 本実験では有歯顎者を対象としていること, より規制の少ない状態で実験を遂行することを重要と考えたため, 実験時間 (30 分間) を通じて咬合力を規定することはせずに, 実験開始前にガム咀嚼時の咀嚼側咬筋の筋電図積分波形をオシロスコープにモニターし, それと同等の咬合力を発揮できるように練習を行ったのちに実験を開始した。また, かみしめ時間 (Duration) と休止時間 (Interval) についても同様に考え, 光信号においては Duration, Interval とも 300 ms では追従できない可能性があるという兼平の報告¹³⁾ や, 正常者のガム咀嚼の周期を参考にして, 最も咀嚼運動に近いものを Duration 500 ms, Interval 500 ms とし, さらにかみしめ時間の長さが筋疲労に影響を及ぼすことを考えて Duration を 1 秒, 2 秒と長くした 3 種類とした。

分析対象とした区間については, 藤沢 (1988)¹⁴⁾, 川田 (1990)¹⁵⁾ らは, 咀嚼運動において power spectrum 分析の定常性, エルゴード性を満たすために sp 後の等尺性成分のみを分析対象とした研究を報告しているが, 本実験では Interval 部分の power 値はきわめて低いものと考え, 鈴木¹⁶⁾ の方法に準じた方法で分析を行った。

2. 実験結果について

1) 筋活動量 (rms 値)

咀嚼筋における疲労現象については, Steenberghe ら

(1978)¹⁷⁾は最大収縮をくり返した時、母指筋や上肢の伸展筋では発揮する力は徐々に低下するのに対し、咬合力は低下しないと述べ、これは咀嚼筋が高い酸素飽和を有していることと、多量の ST fiber によって構成されていることが原因であり、咀嚼筋は疲労に対する抵抗性が高いことを報告している。同様に、Clark ら (1985)¹⁸⁾は咀嚼筋は四肢筋などに比べ Type I 線維が絶対的に多いうえに、毛細血管の密度が高く等尺性収縮においても筋の収縮疲労は起こりにくいとの見解を持ち、さらに咀嚼運動においては持続的なかみしめにおけるような阻血の効果は起こらないため疼痛も発現しにくいと報告した。また、川田 (1990)¹⁵⁾は最大咬合力でかみしめを行わせ短時間で疲労を誘起し、その前後でのガム咀嚼時の筋活動量を比較したところ有意な差がみられず、一時的な疲労では筋の活動状態の変化は引き起こさないと述べている。本実験においてもガム咀嚼での結果は30分間ほとんど変化がなく、疲労傾向はみられないで終始安定した咬筋筋活動が認められた。

一方、間歇的なかみしめ運動では運動開始時に筋活動量が最も大きく、5分後には著明な低下を示した。Dahlström ら (1988)¹⁹⁾は visual feedback をしないで最大咬合力を発揮させると、時間が経過するに従って咬合力が次第に低下することを報告しており、本実験においてもこのような咬合力の低下が起こり、筋活動量が低下したのと考えられる。

2) 平均周波数

表面筋電図の周波数は、筋が疲労すると高周波成分が減少し低周波成分が増加して、パワースペクトラムは左方移動することが知られている^{20, 21)}。このことは咀嚼筋についても報告されており^{22, 23)}、これは筋線維内における活動電位の伝導速度の低下あるいは運動単位の同期化が起こることによると考えられている。沢井 (1987)²⁴⁾はスルメを30分間咀嚼させた後のかみしめ時の咬筋筋電図を周波数分析し、咀嚼前に比べて100 Hz未満の低周波数帯の占める比率が大きくなり、300 Hz以上の高周波数帯の占める比率が減少し、持続的なかみしめによる疲労と同じ傾向を咀嚼運動においても示すことを間接的に報告するものではあるが、直接咀嚼時の周波数を分析したものではない。本実験でのガム咀嚼では30分後にも平均周波数の低下はみられず、周波数の低下としての疲労の傾向はみられなかった。

一方、間歇的なかみしめでは15分後より徐々に平均周波数の低下が起こり、30分後にはかみしめ開始時に比べて有意に平均周波数の低下がみられた。これを筋疲労に

よるものと考えるならば、間歇的なかみしめでは持続的なかみしめの場合のような阻血効果が起こらないため、筋の疲労が瞬時に現れず蓄積されたのち徐々に発現してきたものと思われる。この考え方はかみしめ時間 (Duration) の長いもの程平均周波数の低下傾向が大きい本実験結果が裏付けとなる。ここでガム咀嚼ではこのような傾向がみられないのに対し、活動 (Duration)、休止 (Interval) 時間が同じような間歇的なかみしめ運動 (C1) で平均周波数や筋活動量の低下がみられたことが重要な問題となる。この理由としては、被検者が異なるので単純には比較できないが、かみしめ力 (咬合力) を厳密に規定しなかったため rms 値のデータで示されるようにかみしめ運動のほうがやや筋収縮力が強くなり、筋への負荷が大きくなったためか、あるいは咀嚼運動では開口相で閉口筋がかみしめ時より伸展され阻血抑制効果が発揮されることなども考えられるが、一方では Lund ら (1973)²⁵⁾が示唆した positive feedback 機構の関与も十分に考えられる。森本 (1989)²⁶⁾は、浅麻酔下のウサギの上下臼歯間にポリウレタン・シートを挿入することにより側方運動量や筋活動量が増加することから、上下臼歯間に挿入された物体を咬むことにより歯根膜受容器が刺激されると、ますます強く咬もうとする機構があると述べている。

著者らも、それが歯根膜咬筋反射²⁷⁾によるものかどうかは別にして positive feedback の発現には、上下歯間に物が介在していることが大きな誘起因子になっているのではないかと推測している。本実験においても間歇的なかみしめでは筋活動量、平均周波数とも抑制的な傾向を示すのに対して、ガム咀嚼では筋活動量や平均周波数が変化しないのはガムが上下臼歯間に介在することにより上記のような positive feedback 機構が働き、筋活動量や平均周波数の低下が抑制されているのではないかと考える。また、長時間の筋作業では中枢性疲労の発現がみられる²⁸⁾ことから、本実験のかみしめ運動のように中枢性支配の強い運動、つまり signal に合わせてかみしめるような運動では特に中枢性疲労の影響も無視しえない。

V. 結 論

咀嚼における筋の疲労を明らかにする目的で、30分間の片側ガム咀嚼と間歇的なかみしめ運動における咬筋筋活動量と平均周波数を経時的に観察し、以下の結果を得た。

1. 片側ガム咀嚼では、筋活動量、平均周波数とも咀

嚼開始から 30 分後まで有意な変化がなかった。

2. 間歇的かみしめ運動では、筋活動量は運動開始時のみ高く、5 分後には低下し、以降変化がなかった。平均周波数は、30 分後には運動開始時より有意に低下し、この傾向はかみしめ時間が長いものほど著明であった。

3. 以上のことから、ガム咀嚼では長時間続けても周波数の低下としての筋疲労は発現しないこと、また間歇的なかみしめではガム咀嚼と異なり、長時間ではかみしめ時間に対応して疲労の傾向がみられることが示唆された。

文 献

- 1) 加藤 博：咬合力の発現様式に関する筋電図学的研究，歯科医学，38：65～95，1975.
- 2) Kroon, G.W., Naeije, M. and Hansson, T.L. : Electromyographic power-spectrum changes during repeated fatiguing contractions of the human masseter muscle, Arch Oral Biol, 31 : 603～608, 1986.
- 3) Ahlgren, J. and Öwall, B. : Muscular activity and chewing force : A polygraphic study of human mandibular movement, Arch Oral Biol, 15 : 271～280, 1970.
- 4) 前田照太：咬合性顎関節症の筋電図学的研究，歯科医学，43：229～267，1980.
- 5) 川野 晃：下顎床義歯の臼歯部舌側フレンジが咀嚼運動に及ぼす影響，歯科医学，47：141～183，1984.
- 6) 大井治正：下顎両側遊離端義歯における第 2 大臼歯の機能的意義について，歯科医学，50：397～440，1987.
- 7) 龍田孝夫：下顎片側中間義歯の支持形式が咀嚼機能に及ぼす影響，歯科医学，50：355～396，1987.
- 8) 市村賢二：筋電図解析による咀嚼筋の動作学的研究—筋疲労と咀嚼筋の咀嚼リズム—，歯科学報，76：651～677，1976.
- 9) 三浦不二夫，角田正明：咬合圧（咀嚼圧）に関する研究，日歯医師会誌，7：293～298，1954.
- 10) 田中貴信：頬舌側側方咬合力について，補綴誌，16：321～349，1973.
- 11) 田中康隆：EMG coordination pattern からみた咀嚼運動の食品差について，補綴誌，32：798～813，1988.
- 12) 川畑 衛：各種食品咀嚼時の積分筋電図について，歯科医学，32：453～486，1969.
- 13) 兼平治和：光刺激による咬筋の反応運動に関する基礎的研究，歯科医学，47：446～476，1984.
- 14) 藤沢政紀：Tapping，ガム咀嚼および咬みしめ時における咀嚼筋 EMG の Power Spectrum 解析，補綴誌，32：1～10，1988.
- 15) 川田 毅：咀嚼筋の疲労時と回復期におけるガム咀嚼時の筋電図解析，補綴誌，34：77～84，1990.
- 16) 鈴木啓一：咬合高径の筋電図的診断に関する基礎的研究，歯科医学，49：181～204，1986.
- 17) Steenberghe, D., Vries, J.H. and Hollander, A.P. : Resistance of jaw-closing muscles to fatigue during repetitive maximal voluntary clenching efforts in man, Arch Oral Biol, 23 : 697～701, 1978.
- 18) Clark, G.T. and Carter, M.C. : Electromyographic study of human jaw-closing muscle endurance, Fatigue and recovery at various isometric force levels, Arch Oral Biol, 30 : 563～569, 1985.
- 19) Dahlström, L., Tzakis, M. and Haraldson, T. : Endurance tests of the masticatory system on different bite force levels, Scand J Dent Res, 96 : 137～142, 1988.
- 20) 小木和孝，袴田 忠：筋疲労時の表面筋電図の周波数分析，労働科学，38：519～528，1962.
- 21) Mills, K.R. : Power spectral analysis of electromyogram and compound muscle action potential during muscle fatigue and recovery, J Physiol (Lond), 326 : 401～409, 1982.
- 22) Naeije, M. and Zorn, H. : Changes in the power spectrum of the surface electromyogram of the human masseter muscle due to local muscular fatigue, Arch Oral Biol, 26 : 409～412, 1981.
- 23) Palla, S. and Ash Jr, M.M. : Power spectral analysis of the surface electromyogram of human jaw muscles during fatigue, Arch Oral Biol, 26 : 547～553, 1981.
- 24) 沢井清治：顎関節症における咀嚼筋機能異常についての筋電図学的研究—咀嚼筋筋電図の周波数分析による検討—，鶴見歯学，13：343～374，1987.
- 25) Lund, J.P. and Lamarre, Y. : The importance of positive feedback from periodontal pressoreceptors during voluntary isometric contraction of jaw closing muscles in man, J Biol Buccale, 1 : 345～351, 1973.
- 26) 森本俊文：咀嚼力の調節に関する歯根膜感覚の役割，歯医学誌，8：18～24，1989.
- 27) Goldberg, L.J. : Masseter muscle excitation induced by stimulation of periodontal and gingival receptors in man, Brain Res, 32 : 369～381, 1971.
- 28) 矢部京之助：人体筋出力の生理的限界と心理的限界，150～174，杏林書院，東京，1977.