咀嚼筋の Silent Period について

The electromyographic silent period in masticatory muscles

中 村 公 雄

Kimio Nakamura

大阪大学歯学部歯科補綴学第一講座

The 1st. Department of Prosthetic Dentistry, Faculty of Dentistry,
Osaka University

序

Tapping movement, chewing movement における歯牙接触時、咬みしめ時 部叩打あるいは歯牙叩打時、さらに step 性ないし ramp 性 clenching 時に、閉口筋 EMG 波形上で electrical silent な部分が出現する。この部分を silent period と呼び、silent period 発現迄の期間および silent period の持続時間の変化、あるいは silent period に先行する response の変化を指標として神経筋機構の異常を推察し、その原因を究明しようと試みられている。しかし silent period の発現機序がいまだ解明されていないため、silent period とは何なのか、silent period で何が分かるのか、客観的 Data を得るにはどうすれば良いのか、という根本的問題を模索しつつ、一方では臨床に即応用しているのが現状であろう。

Silent Period の発現機序説

silent period は、ヒトの骨格筋においては、1919 年に Hoffman¹⁾ によって "Hemmungsphase" として報告されたのが最初とされているが、咀嚼筋に関しては 1967 年、Schaerer ら²⁾ が、歯牙接触直後に閉口筋に一時的 inhibitory pause があることを見だし、同年に Ahlgren³⁾ も同様の現象を観察し、"silent" period という言葉を用いている。

骨格筋における筋収縮中に出現する silent period の発現機序については、筋紡錘からの求心性 impulse の停止によるという説 (Matthews (1933)⁴⁾、Merton (1951)⁵⁾、Jansen (1964)⁶⁾、腱器官からの抑制性 impulse によるという説 (Hufschmidt (1960)⁷⁾、Renshaw 側枝の抑制によるという説 (Holmgren (1954)⁸⁾、Herman (1969)⁹⁾) がある。

咀嚼筋の silent period の発現機序に対しても、種々の考え方が主張されている。Schaerer (1967)²⁾、Brenman (1968)¹⁰⁾ は、歯根膜の自己受容器の興奮により、反射的に閉口筋活動が一過性に抑制されると考え、又 Ahlgren (1967)³⁾ も silent period は歯根膜受容器の刺激によっておこされる jaw opening reflex であり、initial tooth contact に対する protective response であるか、閉口筋自身の Golgi tendon organ からの抑制的機序であろうと考えた。Griffin ら (1969)¹¹⁾、Beaudreau (1969)¹²⁾ も同様の考えのようである。

一方、Hannam ら (1970)¹³⁾ は、歯根膜を 2% Lignocaine (0.5 ml) で麻酔しても silent period は発現すること、頭部を叩打しても発現すること、また、Matthews ら (1970)¹⁴⁾ は、総義歯患者でも silent period は発現することから、silent period に関与する受容器は歯根膜受容器ではないとし、さらに、silent period の直前に閉口筋活動の反射的活動を認め、これが jaw jerk reflex 時のものと類似することから、silent period は閉口筋の反射的収縮に対する二次的なものだと考えた。

ところが、1972年 Sessle & Schmitt¹⁵⁾は、正確で再現性のある電氣的にコントロールした機械的刺激装置を用い、咬みしめ時に上顎中切歯を叩打した時の silent period を調べ、2% Lidocaine (2 ml) を注射することによって silent period の出現率が大幅に減少することを認め、再び、silent period が歯根膜受容器によるものであると主張した。

さらに、Goldberg (1971)¹⁶⁾は、等尺性収縮状態において上顎中切歯を叩打した時、潜時 6.5~8.8 msec に興奮性の反応を認め、その後 silent period を認めた。そしてこの興奮性反応は潜時 8~12 msec の下顎張反射の潜時より短く、張反射とは異なるもので、periodontal-masseter reflex と名づけた。silent period は歯根膜咬筋反射の直後にもみられ、下顎張反射後にもみられることになる。Funakoshi ら(1973, 1974)^{17, 18)}は、実験条件によってはどちらもおこりうるとして、silent period に先行する response に関し、緊張性顎反射、迷路反射の咀嚼筋に対する影響を検討する研究で2種類の歯根膜・咀嚼筋反射を報告し、筋紡錘由来の Ia ニューロン発火による mono-synaptic response と、歯根膜由来のニューロン発火による poly-synaptic response があるとしている。

以上のように咀嚼筋の silent period の発現には歯根膜受容器と筋紡錘との両者が関与していると考えられ、歯根膜受容器が存在する場合には歯根膜咀嚼筋反射の反射経路および jaw jerk reflex の反射経路が、また、歯牙が完全喪失した場合には jaw jerk reflex の反射経路が考えられるようである。

この他、腱器官からの信号が、閉口筋緊張の亢進を反射的に調整する上で極めて重要な役割を果たしているという研究結果も多い。Hufschmidt ら(1962)¹⁹⁾は、下顎張反射後の抑制は Golgi 腱器官の興奮による自原性抑制だとしており、Bessette ら(1971)²⁰⁾は、顎関節症患者は silent period の持続時間が長くなっているが、これは閉口筋の緊張亢進のため腱器官が発火し、moto-neuron 活動を抑制するためであろうとしている。Ahlgren (1967)³⁾、Hannam (1972)²¹⁾、Goldberg (1972)²²⁾も腱器官の受容器からのインパルスの影響を認めているが推察の域を出ていない。

また、顎関節には種々の感覚受容器の存在が明らかにされている(Kawamura ら(1964)²³⁾、Greenfield ら(1966)²⁴⁾)。そしてこれらの感覚受容器のあるものは、関節の位置、運動の方向および速度を中枢に伝える自己受容器としての役割を果たしていると考えられており、顎関節からの感覚情報伝達機構もある程度明らかにされてきている(Kawamura ら(1967)²⁵⁾、Klineberg (1971)²⁶⁾、阿部(1974)²⁷⁾)。そして Storey (1973)²⁸⁾は、顎関節の感覚受容器からの反射により咬合干渉を避ける反射がおこり、筋活動に抑制がかかるとしている。しかし一方、耳介側頭神経の麻酔前後で silent period の latency, duration に変化はみられなかったという報告(Smith ら(1983)²⁹⁾)もある。

その他、silent period の発現には、歯肉部の受容器(Goldberg (1971)¹⁶⁾)、口腔粘膜の受容器(Yemm (1972)³⁰⁾)、口唇の受容器(Yu ら(1973)³¹⁾)などが関与するともいわれており、さらには、骨格筋においていわれている、motoneuron の反回性側枝により Renshaw cell を介して抑制がかかるという説を咀嚼筋においても認める考え方もある(Bessette ら(1971)²⁰⁾、Hannam (1972)²¹⁾)。

さらにまた、骨格筋においては、随意動作に先行する silent period が認められておりこれは反射動作や電気刺激によって生ずる筋収縮中の silent period とは区別されるべきものであるとし、これに関する研究によって、動作前 silent period は、意志による上位

中枢の関与なしでは発現しえない現象であることが示唆されている(猪飼(1955)³²⁾、矢部ら(1975)³³⁾)。

Silent Periodの意義

上記のように silent period 発現機序に関する考え方は種々あり、これに關与する受容器も確定されていない。咀嚼筋の silent period は、歯牙接触や閉口筋活動における刺激に対して、種々の受容器のいずれか、あるいは数種の受容器が複雑に關与して現われた EMG 波形における閉口筋々活動の一時的抑制期と解釈されている。ところでなぜこのような抑制期があるのか。その意義は何なのか。咀嚼筋の silent period は、歯牙接触や他の口腔周囲組織への刺激に対して閉口筋活動に一時的抑制を生じさせることによって、歯牙および周囲組織を防御する機構であるとする解釈 (Schäfer (1967)³⁾、Ahlgren (1969)³⁾、Griffin ら (1969)³⁴⁾) が多い。しかし、前述した動作前 silent period に関しては、 α - γ linkage で行われている静的準備姿勢から、急激な α 運動経路だけの筋収縮をおこす際にみられる神経系の切り換え機構が關与している (Granit (1970)³⁵⁾) ものと推察されており (矢部ら (1975)³³⁾)、咀嚼筋に關しても、半場ら (1982)^{36, 37)} は、ramp clenching, step clenching 時の silent period (筋放電 25 μ V 以下という閾値を設け、quiet period という用語を用いている) の研究から、筋出力のエネルギー動員の一様式として、運動制御の切り換え機構に關連する現象と推定している。随意的な tapping 運動においては、等張性収縮から等尺性収縮、tonic 系から phasic 系への移行が歯牙接触を境にして急激におこっており、同様の考え方が可能である。

我々の研究の概略

ここで、tapping 運動時の silent period に関する我々の一連の研究を紹介する。

まず tapping の頻度と強さに関して、40, 60, 80, 120, 180, 240 回/min の頻度において、弱、中、強の咬合力で tapping させたところ、latency は各頻度、各咬合力で差はなく、duration は頻度が増すにつれ短縮し、かつ咬合力が増すに従って短縮するが、平均的にみて 80 回/min で中等度の咬合力が比較的安定した Data を得やすいという結果を得た。duration に関する正常者と TMJ 患者の比較において、平均値による比較ではやや TMJ 患者が延長する傾向があり、かつ TMJ 患者においては、患者の咬合接触感の強い側と弱い側との比較において、弱接触側が延長する傾向を認めた (中村ら (1979)³⁸⁾)。そして、咬合治療により症状が消失するとともに silent period の duration の左右差はなくなる傾向を示した (中村ら (1980)³⁹⁾)。しかし、これらの計測を通じ、silent period の duration は個人差が大きく、かつ各個人においても tapping 試行毎の変動の大きい場合が多く、代表的な一波形のみあるいは平均ないし加算波形による比較では正常か異常かの判定は無理ではないかと判断した。そこで 15 回の tapping において tapping 試行毎の変化を観察した。その結果、duration の変化の状態は、4 type に区分でき、正常者では試行毎の変化の少ない type でかつ左右咬筋、側頭筋の 4 筋が同じ type を示すものが多い (Nakamura et al. (1982)⁴⁰⁾) に比し、TMJ 患者では、silent period 発現頻度の減少に加えて、試行毎の変動の多い type が多く、かつ各筋が異なる type を示す者が多かった。そして、各試行毎の値の差の変動で正常者と比較すると、有意差を得る者が多いことが分かった (Nakamura et al. (1982)⁴¹⁾)。さらに tapping 時、初期歯牙接触後の下顎の偏位と silent period duration との関係を調べたところ、① tapping 時にズレの少ない者は、latency 及び

durationの変動が少い、② tapping時のズレが大きい程、durationが長くなる傾向にある、③ズレが著しく大きい場合には、latencyは長くなり、かつdurationが短くなる傾向にあり、さらにdurationが不明となることもある、という傾向を認めた(中村ら(1983)⁴²⁾)。

以上のようなことから、我々は、silent periodの変動をみることによって、歯牙ないし咀嚼筋に対する刺激の変動を知ることが可能であろうと考えている。即ち、silent periodが一定の値をとるか否かは、初期歯牙接触時に閉口筋に加わった力が、その筋にとって、(顎関節内の顎頭の位置関係も含めて)、好都合なものか否か、その位置で強い力を発揮してよいか否かを神経筋機構が判断した結果であろうと考える。しかし、顎運動制御に関するα-γ linkageの複雑な機構を考え合わせると、単にsilent periodの時間的変化のみで筋異常の判定は困難なようである。

Silent Period計測の諸条件について

EMG波形上でsilent periodを認識する上に種々の条件設定が必要である。その主なものを列挙すると以下の如きものがある。

1) silent periodを発現させる方法

tapping運動、chewing運動、咬みしめ時頤部(歯牙)叩打、step(ramp)clenching

2) 測定条件

被験筋、電極部位、電極間抵抗、時定数、記録紙・オシロスコープ(電磁オシロ、ストレージ型ブラウン管オシロ)、掃引速度

3) 波形の読み取り法

目で読み取る、自動計測(コンピューターの利用)

4) 分析波形の選択

何回目かを代表波形として分析する、数回の試行のうちいくつかを選択する、連続する個々の波形を分析する、加算波形を分析する

5) 計測点の取り方

i) 原波形を利用する

silent period前後の明確なピーク、silent period直前のピークから筋活動の再開する立ち上がり迄、silent period直前のピークからある固定値になった点迄、silent period直前直後の小さな屈曲点、筋活動が全く消失している期間

ii) 変換処理波形を利用する

Smoothing処理波形、加算平均波形、積分波形、微分波形

一般にsilent periodは、tapping運動、chewing運動あるいはclench時の部叩打ないし歯牙叩打によって発現させる方法が多くとられている。どの方法を選ぶかは目的によって異なってくる。現時点での咬合と筋活動との関係をみる場合にはtapping運動の方がよいのではないかと考える。その場合、tappingの頻度や強さは厳密な規定はいらないのではないかと考える。即ち、habitualなtapping運動は個人個人で特有のリズム、強さがあり、これがリズムカルにしかも一定の力で、かつ安定したtapping positionでおこっているか否かをsilent periodの変化から推察できると考える。ただしあまり早すぎたり遅すぎたり、また弱すぎたり強すぎたりすることは好ましくないで、標準的なリズムとして80回/min程度、強さとしては中等度がよい。clench時の頤部叩打、歯牙叩打の際には、咬合力ならびに叩打部位、方向、叩打の強さを規定する必要がある。咬合力は中等

度でよいが、被験者に持続的に同一の咬合力を保持させるのは非常に困難である。視覚、聴覚を利用した feedback も利用されているが、計測中の咬合力の変動はかなりみられるようである。叩打部位、方向、および強さの規定はさほど困難ではないが、いかなる条件が最も適切なのか定かでない。測定条件では電極部位、電極間抵抗、時定数などが特に問題となっているようである。電極部位は各筋中央部がよいが、再現性を考慮し、毎回同じ部位に電極の貼布できる規定板の利用が望ましい。電極間抵抗は $10 \sim 30 K\Omega$ 、時定数は最も標準的な 0.03 sec でよいのではないか。記録紙かオシロスコープか、その掃引速度などは、波形の読み取り方および計測点の取り方と関係してくる。silent period の分析には数多くの波形分析が必要で、その Data 処理に要する時間、労力を考えると自動計測が不可欠となる。原波形を自動計測する場合には、閾値法と peak 法が一般的であるが、筋電図波形の性格上、読み取り困難な波形が多い。そこで原波形を何らかの形で処理して分析する必要がでてくる。現在、移動平均による smoothing 波形、全波整流加算平均波形、全波整流微分波形（新谷ら（1982）⁴³⁾）、積分波形、および積分値変化曲線の利用（山鹿ら（1982）⁴⁴⁾）、標準偏差波形と統計的検定の利用（木竜ら（1982）⁴⁵⁾）が試みられているが決定的方法はなく、今後の問題点の一つである。

参 考 文 献

- 1) Hoffmann, P.: Demonstration eines Hemmungreflexes im menschlichen Rückenmark, Z. Biol., 70: 515-524, 1919 (Hoffmann, P.: Die Physiologischen Eigenschaften der Eigenreflexe. Ergebn. Physiol. 36: 15-108, 1934 より)
- 2) Schaefer, P., Stallard, R.E. and Zander, H.A.: Occlusal interferences and mastication: An electromyographic study. J. Pros. Dent., 17: 438-449, 1967.
- 3) Ahlgren, J.: Kinesiology of the mandible - An EMG study. Acta Odont. Scand., 25: 593-611, 1967.
- 4) Matthews, B.H.C.: Nerve endings in mammalian muscle. J. Physiol., 78: 1-33, 1933.
- 5) Merton, P.A.: The silent period in a muscle of the human hand. J. Physiol., 114: 183-198, 1951.
- 6) Jansen, J.K.S. and Rudjord, T.: On the Silent Period and Golgi Tendon Organs of the Soleus Muscle of the Cat. Acta physiol. scand., 62: 364-379, 1964.
- 7) Hufschmidt, H.-J.: Wird die Silent period nach direkter Muskelreizung durch die Golgi-Sehnenorgane ausgelöst? Pflügers Archiv., 271: 35-39, 1960.
- 8) Holmgren, B. and Merton, P.A.: Local feedback control of motoneurons. J. physiol., 123: 46-47, 1954.
- 9) Herman, R.: Silent Period during Isometric and Isotonic Contraction. Arch. phys. Med. Rehabil., 50: 642-646, 1969.
- 10) Brenman, H.S., Black, M.A. and Coslet, J.G.: Interrelationship between the Electromyographic Silent Period and Dental Occlusion (Abstract). J. Dental Res., 47: 502, 1968.
- 11) Griffin, C.J. and Munro, R.R.: Electromyography of the jaw-closing muscles in the open-close-clench cycle in man. Archs oral Biol., 14: 141-149, 1969.
- 12) Beaudreau, D.E., Daugherty, W.F. and Masland, W.S.: Two types of motor pause in masticatory muscles. Am. J. physiol., 216: 16-21, 1969.
- 13) Hannam, A.G., Matthews, B. and Yemm, R.: Receptors involved in the response of the masseter muscle to tooth contact in man. Archs. oral Biol., 15: 17-24, 1970.
- 14) Matthews, B. and Yemm, R.: A silent period in the masseter electromyogram following tooth contact in subjects wearing full dentures. Archs oral Biol., 15: 531-535, 1970.
- 15) Sessle, B.J. and Schmitt, A.: Effects of controlled tooth stimulation on jaw muscle activity in man. Archs oral Biol., 17: 1597-1607, 1972.
- 16) Goldberg, L.J.: Masseter muscle excitation induced by stimulation of periodontal and gingival receptors in man. Brain Research, 32: 369-381, 1971.
- 17) Funakoshi, M. and Amano, N.: Effects of the tonic neck reflex on the jaw muscles of the rat. J. Dent. Res., 52: 668-673, 1973.
- 18) Funakoshi, M. and Amano, N.: Periodontal jaw muscle reflexes in the albino rat. J. Dent. Res., 53: 598-605, 1974.
- 19) Hufschmidt, H.J. and Spuler, H.: Mono- and polysynaptic reflexes of the trigeminal muscles in human beings. J. Neurol., Neurosurg. and psychiat., 25: 332-335, 1962.

- 20) Bessette, R., Bishop, B. and Mohl, N.: Duration of masseteric silent period in patients with TMJ syndrome. *J. Applied physiol.*, 30: 864-869, 1971.
- 21) Hannam, A.G.: Effect of voluntary contraction of the masseter and other muscles upon the masseteric reflex in man. *J. Neurol., Neurosurg. and Psychiat.*, 35: 66-71, 1972.
- 22) Goldberg, L.J.: The effect of jaw position on the excitability of two reflexes involving the masseter muscle in man. *Archs oral Biol.*, 17: 565-576, 1972.
- 23) Kawamura, Y. and Majima, T.: Temporomandibular-joint sensory mechanisms controlling activities of the jaw muscles. *J. Dent. Res.*, 43: 150, 1964.
- 24) Greenfield, B. and Wyke, B.: Reflex innervation of the temporomandibular joint. *Nature*, 211: 940-941, 1966.
- 25) Kawamura, Y., Majima, T. and Kato, I.: Physiologic role of deep mechanoreceptor in temporomandibular joint capsule. *J. Osaka Univ. Dent. Sch.*, 7: 63-76, 1967.
- 26) Klineberg, I., Greenfield, B. and Wyke, B.: Afferent discharges from temporomandibular articular mechanoreceptors. *Arch. oral Biol.*, 16: 1463-1479, 1971.
- 27) 阿部勝也：顎関節よりの求心性神経情報に関する研究. 歯基礎誌, 16:117-128. 1974.
- 28) Storey, A.T.: Reflex Functions of the Temporomandibular Joint. *J. Pros. Dent.*, 30: 830-837, 1973.
- 29) Smith, D.M., Ziter, W.D., Mohl, N.D. and McCall, Jr. W.D.: Influence of auriculotemporal nerve anaesthesia on the masseteric silent period. *J. oral Rehabili.*, 10: 251-256, 1983.
- 30) Yemm, R.: The response of the masseter and temporal muscles following electrical stimulation of oral mucous membrane in man. *Archs oral Biol.*, 17: 23-33, 1972.
- 31) Yu, S.-K. J., Schmitt, A. and Sessle, B.J.: Inhibitory effects on jaw muscle activity of innocuous and noxious stimulation of facial and intraoral sites in man. *Archs oral Biol.*, 18: 861-870, 1973.
- 32) 猪飼道夫：動作に先行する抑制機構. 日本生理学雑誌, 17:292-298. 1955.
- 33) 矢部京之助, 村地俊二：随意動作に先行する silent period の役割. 日本生理誌, 37:91-98. 1975.
- 34) Griffin, C.J. and Munro, R.R.: Electromyography of the jaw-closing muscles in the open-close-clench cycle in man. *Archs oral Biol.*, 14: 141-149, 1969.
- 35) Granit, R.: The basis of motor control. 1st Ed., Academic Press, London, 163-186, 1970.
- 36) 半場道子：周波数分析 (FFT) による咀嚼筋放電の quiet period 出現に関する考察 — 第1報 Ramp 性の収縮について — 歯基礎誌, 24:638-645. 1982.
- 37) 半場道子：周波数分析 (FFT) による咀嚼筋放電の quiet period 出現に関する考察 — 第2報 Step 性の収縮について — 歯基礎誌, 24:646-651. 1982.
- 38) 中村公雄ら：疼痛性顎関節症患者の咬筋ならびに側頭筋前腹における筋活性抑制相に関する研究. 阪大歯学雑誌, 24:266-284. 1979.
- 39) 中村公雄ら：顎関節症患者の咬合治療前後における咬筋と側頭筋前腹の筋活性抑制相に関する研究. 阪大歯学雑誌, 25:257-263. 1980.
- 40) Nakamura, K. et al.: The Silent Period in the Electromyogram of the Masseter Muscles and the Anterior Temporal Muscles in Normal Human Subjects. *J. Osaka Univ. Dent. Sch.*, 22: 141-152, 1982.
- 41) Nakamura, K. et al.: Study on the Diagnostic Method for Muscular Dysfunction Using the Electromyographic Silent Period. *J. Osaka Univ. Dent. Sch.*, 22: 153-162, 1982.
- 42) 中村公雄ら：Tapping 運動時における Silent Period の変化について. 下顎運動機能と EMG 論文集, 113-116. 1983.
- 43) 新谷明幸ら：咀嚼筋筋電図の silent period に関する研究, 第1報 全波整流微分波形における計測点の検討. 補綴誌, 26:734-740. 1982.
- 44) 山鹿卓郎ら：筋電図の自動解析 第3報 Silent Period の認識について. 補綴誌, 26:526-531. 1982.
- 45) 木竜 徹ら：筋電図の自動解析 第4報 統計的波形分析による Silent Period 前後の咀嚼筋筋電図解析. 補綴誌, 26:814-821. 1982.