原著論文

ヒトの開口反射応答における筋電図学のおよび運動学的検討

第1報 刺激強度と咬みしめ強さについて

川村 倉造 山本 克之 森谷 良彦 大森 洋一
竹内 英明 竹内 康司 加納 昭彦 杉江 弘
長谷川 寛 椎原 克寛 祇園白信仁

Electromyographical and Kinesiographical Observations of Human Jaw Opening Reflexes

Part 1. Stimulus Intensity and Clenching Strength

Kurazou Kawamura, Katsuyuki Yamamoto, Yoshihiko Moriya,
Hirokazu Ohmori, Hideaki Takeuchi, Koji Takeuchi,
Akihiko Kanou, Hiroshi Sugie, Kan Hasegawa,
Katsuhiro Shiihara and Nobuhito Gionhaku

Abstract : This study was made for the purpose of seeking the effective condition to induce the mouth opening of jaw opening reflex. The following results were obtained.

1. It has been found that clenching is an essential factor for the induction of mouth opening as jaw opening reflex.
2. Relation between stimulus intensity and digastric muscle activity, more than 4 mA, 75% mvc showed the greatest, the second in 50% mvc and the third is 25% mvc.
3. Relation between stimulus intensity and the ratio of masseter muscle activity before stimulation to after, at 6 mA and 7 mA, 50% mvc showed the smallest, the second is 75% mvc and the third is 25% mvc.
4. Relation between stimulus intensity and the ratio of temporal muscle activity before stimulation to after, more than 6 mA, 50% mvc showed the smallest, the second is 75% mvc and the third is 25% mvc.
5. Relation between stimulus intensity and degree of mouth opening, at 6 mA and 7 mA, 50% mvc showed the greatest, the second is 75% mvc and the third is 25% mvc.
6. It has been suggested that 50% mvc at 6 mA and 7 mA is the effective condition for inducing the degree of mouth opening (from 2.23 to 2.69 mm) which can be judged as normal range.

日本大学歯学部歯科補綴学教室総義歯補綴学講座 (主任: 森谷良彦教授)

Department of Complete Denture Prosthodontics, Nihon University School of Dentistry (Chief: Prof. Yoshihiko Moriya)

平成3年8月9日受付

Key words : electromyography, jaw opening reflex, clenching, stimulus, degree of mouth opening

I. 緒 言

刺激が感覚受容器に加わるとそこに求心性インパルスを生じ、これが中枢を経て遠心性インパルスとなり特定の効果器に作用を現す。この過程が精神現象を伴わず、さらに再現性がきわめて高い場合には反射と呼ばれる¹⁾。

医学分野で神経・筋機構の機能異常診断に必須なことは、障害部位を特定しその原因を解明することである。そのためには、問診そして理学的検査と臨床検査とから得られる必要な情報を総合的に判断し、診断が決定される^{2,3)}。

このうち、理学的検査の段階では、反射の検査が多用されている。

これらの反射の評価は、術者の肉眼で反応部位の運動量に応じて判定される⁴⁻⁶⁾。

反射を用いる利点としては、評価において客観性があることがあげられる。また反射を評価することによって、その病因が入力系の異常である⁴⁻⁶⁾か、中枢の異常によるもの^{4-6,9,10)}か、あるいは出力系の異常によるもの^{4-6,11)}かを明らかにすることができるので神経・筋機構の不調和に対する診断の重要資料として活用しうる。

顎口腔領域において反射は、顎関節、筋、歯根膜および歯肉などの口腔粘膜に存在する感覚受容器からの入力、反射中枢へ伝達され出力系を介して開閉口筋の活動および下顎運動を調節している。

顎口腔領域においては、四肢の脊髄反射に相当する反射があり、一つは伸張反射である閉口反射と他の一つは屈曲反射である開口反射がある¹⁾。

開口反射では、開口筋および閉口筋の筋活動が、再現性が高い電気刺激により誘発される^{12,13)}。したがって、感覚受容器からの興奮により、反射性に調節された開口反射応答としての開閉口筋および下顎運動においては、種々の様相が存在する。すなわち、筋放電活動様相としては、開口筋および閉口筋の筋活動電位および筋放電活動量、また時間様相としては、刺激時から筋放電活動開始時までの時間、刺激時から筋放電活動終了時までの時間、筋放電活動持続時間、開・閉口筋の筋放電活動開始時と終了時の時間差、開口相時間、閉口相時間さらに運動量様相としては、開口量、運動

速度がある。これらの開口筋・閉口筋の筋放電活動様相および時間様相、さらに開口筋・閉口筋の協調により発現する下顎運動様相を検索することは、咬合関係や顎関節構造の変化によって sensory feedback mechanism に不調和を生じた下顎運動機能の解明に有用と思われる^{14-16,25)}。

そこで、顎口腔系における神経・筋機構の不調和に対する診査および診断の一助とするため、著者らは開口反射の臨床応用を試みた。

これまで、ヒトの電気刺激における開口反射応答について、山田ら¹²⁾および渡辺ら¹³⁾の報告がみられるがこれらの開口反射応答における反射の評価は、先に述べた理学的検査において運動量を評価する判定方法とは異なり、臨床検査としての神経生理検査で行われるような活動電位の波形により決定されており^{12,13)}、運動量としての開口量についての判定は行われていない。中村¹⁴⁾は、ヒトにおける開口反射におちては、閉口筋が弛緩しなければ口は開かないと述べている。したがって、刺激付与前の閉口筋の活動性、すなわち咬みしめ強さを考慮する必要があるにも関わらず検索は全く行われていない。

そこで、著者らは、開口反射応答による資料を顎口腔系機能検査における開閉口筋や下顎運動の診査および診断の一指標とするため、咬みしめ強さを規定した咬合状態において、電気刺激による開口反射応答を検索する一連の研究を行うことにした。

本研究では、開口反射応答、とくに開口筋の収縮および閉口筋の弛緩によって生じる開口量に注目し、開口に有効な刺激強度および中心咬合位における咬みしめ強さを検討した。

II. 材料と方法

1. 被検者

被検者は、顎口腔系器官と機能に自覚的および他覚的に異常を認めない 20 歳代健常有歯顎者 8 名とした。

2. 測定装置および方法

1) 筋放電活動

筋放電活動の測定は、開口筋として右側顎二腹筋前腹(以下、Dと略す)を津留らの方法¹⁷⁾に、閉口筋として右側咬筋浅部(以下、Mと略す)および右側側頭筋

前部(以下、Tと略す)を深水の方法¹⁸⁾に準じて行った。

筋電図の導出は、表面電極(日本光電社, disposable adhesive seal 方式, 有効直径 4 mm, sintered Ag/AgCl miniature skin electrode NT-613 U)を貼布し, その極間抵抗が 10 k Ω 以下で測定した。

2) 開口量

開口量(以下、Vと略す)の測定には、シロナソグラフ(シーメンス社, D 3175 以下、SGG と略す)を用いた。

マグネットは、丸山らの報告¹⁹⁾に準じ、床と水平となるように下顎切歯点下部へ付着した。中心咬合位のマグネットの位置を SGG 本体の X=Y=Z=0 に一致させるゼロ調整操作を行い、開口量測定時の原点と規定した。さらに、X-Z 平面を被検者の正中矢状面に一致させ、Y-Z 平面が前頭面および X-Y 平面が水平面を標示するように設定した。

V は、Z 軸における垂直的な下顎運動量から求めた。

なお、筋電図とともに多用途計測記録装置(日本光電社, RM-6000)を用いて同時記録を行った。

開口反射出現は、被検者の開口運動を術者が肉眼にて観察した。

3) 咬みしめ強さ

開口反射には、刺激前の活動性すなわち咬みしめ強さが必要なので電気刺激時の咬みしめ強さは、被検者に中心咬合位で最大咬みしめ(以下、MVC と略す)を 5 回行わせ、その M におけるピーク電位を求め、5 回の平均値を被検者の 100% MVC とした。そして、この 100% MVC 値を基準値とし、その 25 $\pm$ 5% MVC, 50 $\pm$ 5% MVC および 75 $\pm$ 5% MVC (以下、25% MVC, 50% MVC および 75% MVC と略す)の電位のレベルをモニタ上でみせながら、被検者にこれらのレベルとなるような咬みしめ強さをそれぞれ 5 回ずつ実行させた。

4) 電気刺激の部位

電気刺激の部位は、渡辺らの報告¹³⁾を参考に、触・圧覚受容器および痛覚受容器がほぼ均等に分布する部位で、かつ唾液による刺激電流の漏洩の起きにくい上顎犬歯部歯肉頬移行部とした。

5) 刺激電極

刺激電極(エム・ティ技研社, 有効直径 8 mm, bipolar silver electrodes)には、電極間距離 10 mm にて貼布し用いた。

6) 電気刺激の強度

電気刺激は、電気刺激装置(日本光電社, SEN-3301)

図1 分析方法

IBT: Tの刺激前の筋放電活動量 ID: Dの筋放電活動量
IAT: Tの刺激後の筋放電活動量 V: 開口量
IBM: Mの刺激前の筋放電活動量 Stim: 電気刺激時
IAM: Mの刺激後の筋放電活動量

を用い、咬みしめ開始 7 秒後に付与した。

電気刺激の強度(以下、刺激強度とする)は、電気信号波形を持続時間 1 ms の定電流シングルパルスで、許容最大流値²⁰⁻²²⁾以内の刺激強度を 1~10 mA まで 1 mA ごとに順次強めて行った。

3. 分析方法

開口反射応答における筋放電活動量様相については、図 1 に示すごとく、刺激前(B)および刺激後(A)における開口筋・閉口筋筋放電活動量で比較検討した。

A においては、電気刺激時から閉口筋筋放電終了時までの活動電位を積分し、T および M の筋放電活動量(IAT, IAM)として求めた。次に、B においては、電気刺激時からさかのぼって、A の筋放電活動時間と等長区間における活動電位を積分し、筋放電活動量(IBT, IBM)として求めた。開口筋である D については、開口筋筋放電活動開始時から終了時までの活動電位を積分し、筋放電活動量(ID)として求めた。

開口筋の収縮および閉口筋の弛緩によって生じる V においては、SGG の Z 軸の原点からの垂直的な下顎運動量を求めた。

1) 分析項目

(1) 刺激強度、咬みしめ強さおよび被検者における三元配置分散分析

本研究では、咬みしめ強さを規定したが、被検者に

開口させるにあたって、咬みしめ強さの程度が、開口に必要な因子かどうかを検討するために、刺激強度、咬みしめ強さおよび被検者における三元配置分散分析を行った。

(2) 刺激強度と ID との関係

開口反射応答として開口筋の収縮を検索するために、3 種咬みしめ強さの各刺激強度における ID を求めた。

(3) 刺激強度と IBM に対する IAM の占める割合との関係

開口反射応答として閉口筋の弛緩を検索するために、3 種咬みしめ強さの各刺激強度における IBM に対する IAM の占める割合を求めた。

(4) 刺激強度と IBT に対する IAT の占める割合との関係

M と同様に、3 種咬みしめ強さの各刺激強度における IBT に対する IAT の占める割合を求めた。

(5) 刺激強度と V との関係

開口反射応答として開口筋の収縮と、閉口筋の弛緩によっておこる垂直的な下顎運動量の変化との関連性を検索するために、3 種咬みしめ強さの各刺激強度における V を求めた。

(2)~(5) の分析項目については、AD コンバータ (カノーブス電子, ADX-98 E) を搭載した 16 ビットパーソナルコンピュータ (日本光電社, PC-9801 VX) を用い、波形解析プログラムをサンプリング周波数 10 kHz に設定して処理し、各分析項目における測定値の平均値と標準偏差を求め、さらに回帰式、相関係数および有意差検定を行った。

表 1 刺激強度、咬みしめ強さおよび被検者における三元配置分散分析

要因	変動	自由度	不偏分散	分散比
A	173.472	9	19.275	154.756**
B	34.284	2	17.143	137.635**
C	11.754	7	1.679	13.483**
A × B	25.608	18	1.424	11.422**
B × C	8.712	14	0.622	4.996**
C × A	9.307	63	0.148	1.186
e	15.693	126	0.125	
合計	278.830	239		

** : $p < 0.01$

A : 刺激強度

B : 咬みしめ強さ

C : 被検者

III. 成 績

1. 開口量が、刺激強度、咬みしめ強さおよび被検者のどの因子の影響を強く受けるかについての 3 元配置分散分析の成績は、表 1 に示す。

2. 3 種咬みしめ強さの 1~10 mA 刺激強度における ID を表 2 に、回帰式および相関係数を表 3 に、回帰直線を図 2 に示す。各刺激強度における ID の 3 種咬みしめ強さ間の有意差検定結果を表 4 に示す。

3. 3 種咬みしめ強さの 1~10 mA 刺激強度における IBM に対する IAM の占める割合を表 5 に、回帰式

表 2 3 種咬みしめ強さの各刺激強度における筋活動量 (ID)

	25% MVC	50% MVC	75% MVC
1 mA	1.030 (0.727)	2.176 (0.637)	1.434 (0.647)
2 mA	1.397 (0.735)	3.075 (1.047)	2.133 (0.608)
3 mA	2.148 (0.703)	3.745 (1.139)	4.119 (1.032)
4 mA	2.751 (0.624)	4.908 (0.902)	6.079 (0.956)
5 mA	2.896 (0.884)	5.993 (1.259)	7.778 (1.443)
6 mA	3.635 (1.174)	7.083 (1.558)	9.536 (1.372)
7 mA	3.991 (1.491)	7.688 (1.141)	10.278 (1.835)
8 mA	4.843 (1.292)	8.320 (0.838)	10.775 (2.051)
9 mA	5.201 (1.095)	8.366 (0.998)	11.738 (3.100)
10 mA	5.210 (1.328)	9.302 (0.509)	12.376 (2.981)

unit : mV · ms
() : S.D

表 3 3 種咬みしめ強さの各刺激強度における ID の回帰式および相関係数

咬みしめ強さ	回帰式	相関係数	検定
25% MVC	$Y = 0.503 X + 0.571$	0.827	**
50% MVC	$Y = 0.807 X + 1.631$	0.911	**
75% MVC	$Y = 1.293 X + 0.514$	0.895	**

** : $p < 0.01$

図 2 刺激強度と ID との関係

表 4 各刺激強度における ID の 3 種咬みしめ強さ間の有意差検定結果

	25% MVC vs 50% MVC	25% MVC vs 75% MVC	50% MVC vs 75% MVC
1 mA	+	+	+
2 mA	+	-	+
3 mA	+	+	-
4 mA	+	+	+
5 mA	+	+	+
6 mA	+	+	+
7 mA	+	+	+
8 mA	+	+	+
9 mA	+	+	+
10 mA	+	+	+

- : 有意差なし

+ : 有意差あり ($\alpha=0.05$)+ : 有意差あり ($\alpha=0.01$)+ : 有意差あり ($\alpha=0.001$)

表 5 3 種咬みしめ強さの各刺激強度における IBM に対する IAM の占める割合

	25% MVC	50% MVC	75% MVC
1 mA	52.399(1.415)	52.801(5.274)	68.400(2.517)
2 mA	50.979(1.186)	50.996(4.670)	59.403(3.619)
3 mA	48.007(1.197)	48.121(2.279)	50.390(2.065)
4 mA	46.623(2.143)	40.613(11.048)	43.040(2.952)
5 mA	42.422(0.601)	30.783(12.378)	33.705(2.895)
6 mA	42.143(1.214)	18.006(3.359)	23.743(2.126)
7 mA	37.046(1.560)	16.773(3.052)	21.230(3.259)
8 mA	37.355(2.625)	17.070(3.220)	18.826(6.517)
9 mA	33.592(2.041)	14.612(4.107)	17.685(5.275)
10 mA	32.924(2.653)	14.212(3.873)	16.799(5.634)

unit : %

() : S.D.

表 6 3 種咬みしめ強さの各刺激強度における IBM に対する IAM の占める割合の回帰式および相関係数

咬みしめ強さ	回帰式	相関係数	検定
25% MVC	$Y = -2.306 X + 55.040$	-0.961	**
50% MVC	$Y = -5.100 X + 58.450$	-0.889	**
75% MVC	$Y = -6.018 X + 68.355$	-0.937	**

** : $p < 0.01$

図 3 刺激強度と IBM に対する IAM の占める割合との関係

表 7 各刺激強度における IBM に対する IAM の占める割合の 3 種咬みしめ強さ間の有意差検定結果

	25% MVC vs 50% MVC	25% MVC vs 75% MVC	50% MVC vs 75% MVC
1 mA	-	+	+
2 mA	-	+	+
3 mA	-	+	-
4 mA	-	+	-
5 mA	+	+	-
6 mA	+	+	+
7 mA	+	+	+
8 mA	+	+	-
9 mA	+	+	-
10 mA	+	+	-

- : 有意差なし

+ : 有意差あり ($\alpha=0.05$)+ : 有意差あり ($\alpha=0.01$)+ : 有意差あり ($\alpha=0.001$)

表 8 3 種咬みしめ強さの各刺激強度における IBT に対する IAT の占める割合

	25% MVC	50% MVC	75% MVC
1 mA	60.316(1.204)	63.926(5.445)	77.504(3.217)
2 mA	59.359(1.206)	62.619(4.757)	68.855(4.891)
3 mA	58.091(1.405)	59.586(3.060)	60.405(2.522)
4 mA	56.548(1.064)	52.414(10.101)	53.232(3.042)
5 mA	53.472(1.788)	41.839(15.298)	42.440(5.431)
6 mA	52.694(1.368)	25.758(1.809)	33.881(3.395)
7 mA	50.235(1.280)	24.604(1.386)	30.958(5.293)
8 mA	43.888(1.345)	22.289(1.049)	27.707(5.871)
9 mA	40.830(1.066)	19.745(3.105)	26.899(6.757)
10 mA	41.089(1.520)	19.072(3.659)	25.313(6.963)

unit : %

() : S.D.

表 9 3 種咬みしめ強さの各刺激強度における IBT に対する IAT の占める割合の回帰式および相関係数

咬みしめ強さ	回帰式	相関係数	検定
25% MVC	$Y = -2.385 X + 64.768$	-0.958	**
50% MVC	$Y = -6.003 X + 72.207$	-0.909	**
75% MVC	$Y = -6.073 X + 78.127$	-0.934	**

** : $p < 0.01$

表 10 各刺激強度における IBT に対する IAT の占める割合の 3 種咬みしめ強さ間の有意差検定結果

	25% MVC vs 50% MVC	25% MVC vs 75% MVC	50% MVC vs 75% MVC
1 mA	—	≡	≡
2 mA	—	≡	+
3 mA	—	+	—
4 mA	—	+	—
5 mA	+	≡	—
6 mA	≡	≡	≡
7 mA	≡	≡	+
8 mA	≡	≡	+
9 mA	≡	≡	+
10 mA	≡	≡	+

— : 有意差なし
+ : 有意差あり ($\alpha = 0.05$)
≡ : 有意差あり ($\alpha = 0.01$)
≡ : 有意差あり ($\alpha = 0.001$)

図 4 刺激強度と IBT に対する IAT の占める割合との関係

および相関係数を表 6 に、回帰直線を図 3 に示す。また、各刺激強度における IBT に対する IAM の占める割合の 3 種咬みしめ強さ間の有意差検定結果を表 7 に示す。

4. 3 種咬みしめ強さの 1~10 mA 刺激強度における IBT に対する IAT の占める割合を表 8 に、回帰式および相関係数を表 9 に、回帰直線を図 4 に示す。また、各刺激強度における IBT に対する IAT の占める割合の 3 種咬みしめ強さ間の有意差検定結果を表 10

表 11 3 種咬みしめ強さの各刺激強度における V

	25% MVC	50% MVC	75% MVC
1 mA	0.086 (0.027)	0.183 (0.151)	0.166 (0.123)
2 mA	0.155 (0.121)	0.248 (0.138)	0.236 (0.145)
3 mA	0.302 (0.123)	0.423 (0.181)	0.570 (0.373)
4 mA	0.708 (0.280)	0.733 (0.360)	0.659 (0.361)
5 mA	0.886 (0.232)	1.414 (0.299)	1.189 (0.300)
6 mA	0.974 (0.136)	2.226 (0.493)	1.624 (0.498)
7 mA	1.119 (0.177)	2.687 (0.368)	1.794 (0.575)
8 mA	1.136 (0.253)	2.939 (0.393)	2.283 (0.820)
9 mA	1.135 (0.146)	3.004 (0.487)	2.687 (1.282)
10 mA	1.385 (0.185)	3.274 (0.433)	2.827 (1.265)

unit : mm
() : S.D.

表 12 3 種咬みしめ強さの各刺激強度における V の回帰式および相関係数

咬みしめ強さ	回帰式	相関係数	検定
25% MVC	$Y = 0.153 X - 0.040$	0.910	**
50% MVC	$Y = 0.403 X - 0.499$	0.939	**
75% MVC	$Y = 0.324 X - 0.380$	0.813	**

** : $p < 0.01$

図 5 刺激強度と V との関係

に示す。

5. 3 種咬みしめ強さの 1~10 mA 刺激強度における V を表 11 に、回帰式と相関係数を表 12 に、回帰直線を図 5 に示す。各刺激強度における V の 3 種咬みしめ強さ間の有意差検定結果を表 13 に示す。3 種咬みしめ強さにおける V の各刺激強度間の有意差検定結果を表 14 に示す。

IV. 総括および検討

1. 開口反射応答としての開口量

神経内科、整形外科、眼科および耳鼻咽喉科などの

表 13 各刺激強度におけるVの3種咬みしめ強さ間の有意差検定結果

	25% MVC vs 50% MVC	25% MVC vs 75% MVC	50% MVC vs 75% MVC
1 mA	—	—	—
2 mA	—	—	—
3 mA	+	+	+
4 mA	—	—	—
5 mA	+	+	—
6 mA	+	+	+
7 mA	+	+	+
8 mA	+	+	—
9 mA	+	+	—
10 mA	+	+	—

—：有意差なし
 +：有意差あり ($\alpha=0.05$)
 +：有意差あり ($\alpha=0.01$)
 +：有意差あり ($\alpha=0.001$)

医学分野で神経・筋機構の機能異常診断に必須なことは、障害部位を特定しその原因を解明することである。そのためには、問診によって病歴および病態を把握し、ついで理学的検査と臨床検査とから得られる必要な情報を総合的に判断し、診断が決定される。

理学的検査では、意識障害レベルの検査、懐中電灯による瞳孔および音叉による聴覚などの脳神経系の検査、筋力や筋トーンなどの運動系の検査、ハンマーやルーレットを用いた反射の検査、コンパスや筆を用いた感覚の検査などが行われて、身体的情報が得られる²³⁾。この理学的検査の段階では、反射の検査が多用されている。

反射としては、深部（腱）反射、表在反射および病的反射などが検査される⁴⁻⁶⁾。深部反射では、下顎反射は閉口、上腕二頭筋反射は肘関節の屈曲、上腕三頭筋反射は肘関節の伸展、膝蓋腱反射は膝の伸展およびアキレス腱反射は足底屈曲がみられる。表在反射としては、腹壁皮膚と臍が刺激側へ偏位する腹壁反射および太腿の上内側の皮膚を擦過すると睾丸が挙上する挙睾丸反射などがある。病的反射においては、中指の先を軽くはじくと母指の内転を伴った手指の屈曲がみられる Hoffmann 反射、踵から小指までの足底外側縁を擦過することによって緊張性の母指背側伸展さらに他指が開扇する Babinski 反射がある²⁴⁾。

これらの反射の評価は、術者の肉眼で反応部位の運動量に応じて亢進、正常、低下、消失および左右差の有無のごとく判定される⁴⁻⁶⁾。

反射を用いる利点としては、評価において客観性が

表 14 3種咬みしめ強さにおけるVの各刺激強度間の有意差検定結果

25% MVC										
mA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
10	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—
9	+	+	+	+	+	+	+	+	+	—
8	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—
7	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—
6	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—
5	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—
4	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—
3	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

50% MVC										
mA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
10	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—
9	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—
8	+	+	+	+	+	+	+	—	—	—
7	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—
6	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—
5	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—
4	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—
3	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

75% MVC										
mA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
10	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—
9	+	+	+	+	+	+	—	—	—	—
8	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—
7	+	+	+	+	+	—	—	—	—	—
6	+	+	+	+	—	—	—	—	—	—
5	+	+	+	—	—	—	—	—	—	—
4	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—
3	+	+	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

—：有意差なし
 +：有意差あり ($\alpha=0.05$)
 +：有意差あり ($\alpha=0.01$)
 +：有意差あり ($\alpha=0.001$)

あることがあげられる。すなわち、被検者の意志に関係なく不随意な現象であること、患者が非協力的であってもあるいは意識障害がある場合でも信頼のおける結果が得られることである。また反射を評価することによって、その病因が入力系の異常である⁴⁻⁸⁾か、中枢の異常によるもの^{4-6,9,10)}か、あるいは出力系の異常によるもの^{4-6,11)}かを明らかにすることができるので神経・筋機構の不調和に対する診断の重要資料として活用しうる。

顎口腔領域における神経・筋機構の調節には、反射

が重要な役割を果たしている。顎口腔領域において反射は、顎関節、筋、歯根膜および歯肉などの口腔粘膜に存在する感覚受容器からの入力、反射中枢へ伝達され出力系を介して開口筋の活動および下顎運動を調節している。したがって、このような神経・筋機構のどの部位に障害が生じて、下顎運動の機能異常をおこすことになる。とくに、咬合関係や顎関節構造の変化などによる sensory feedback mechanism の障害が、異常な下顎運動を起こさせる最も重要な要因である²⁵⁾。

そこで、顎口腔系における神経・筋機構の不調和に対する診査および診断の一助とするため、著者らは反射の臨床応用を試みた。

顎口腔領域においても、四肢の脊髄反射に相当する反射があり、一つは伸張反射である閉口反射と他の一つは屈曲反射である開口反射である¹⁾。

閉口反射は、筋紡錘からのインパルスが閉口筋運動ニューロンのみに対し、三叉神経中脳路核を介し興奮性シナプス後電位 (EPSP) を生じることにより発現される²⁶⁾。これに対して開口反射は、末梢刺激が開口筋運動ニューロンに対し、三叉神経脊髄路核を介して EPSP を生じ²⁷⁾、閉口筋運動ニューロンに対しては、三叉神経上核を介して抑制性シナプス後電位 (IPSP) を生じることによって発現される²⁸⁻³⁰⁾。また、開口反射では、開口筋および閉口筋の筋活動が、再現性が高い電気刺激により誘発される^{12,13)}ので、反射により調節された下顎運動機能の解明に有用と思われる。

これまで、ヒトの電気刺激における開口反射応答について、山田ら¹²⁾は、下顎運動時および開口筋・閉口筋の等尺性収縮時の刺激効果を検討するため、中心咬合位での咬みしめ時(咬合相)、下顎開口運動時(開口相)、開口筋の等尺性収縮時(持続的開口相)および下顎閉口運動時(閉口相)において閾値(0.4~0.8 mA)の2~4 倍の電気刺激を与えた。その結果、下顎運動時の電気刺激の効果は、閉口相における運動速度の減少として観察されたが、開口筋には、運動速度の減少となるような反射応答は観察されなかった。この運動速度の減少は、これに数 10 ms 先行している閉口筋活動の抑制が原因であると述べた。渡辺ら¹³⁾は、顎二腹筋 EMG の導出および誘発された反射応答の神経生理学的特徴を検索し、開口反射応答として潜時の異なる 2 種の活動電位と被検者の知覚する痛みとの関係を明らかにした。その結果、短潜時の応答は、細い求心性神経をもつ痛覚受容器の興奮によって誘発される侵害受

容性の反射であり、長潜時の応答は、太い求心性神経をもつ触・圧覚受容器の興奮によって誘発される非侵害受容性の反射であることを明らかにした。

しかし、これらの開口反射応答における反射の評価は、先に述べた理学的検査において運動量を評価する判定方法とは異なり、臨床検査としての神経生理検査で行われるような活動電位の波形により決定されており^{12,13)}、運動量としての開口量についての判定は行われていない。

そこで、著者らは、開口反射を臨床応用する第一段階として、運動量としての開口量を反射出現の判定基準とするため、開口に有効な誘発の条件について検討を行った。

2. 電気刺激

口腔粘膜には、皮膚感覚に該当する触・圧覚、冷覚、温覚および痛覚があり、さらに、特殊感覚である味覚がこれに加えられる³¹⁾。触・圧覚としてメルケル触覚小体、マイスネル触覚およびゴルジ・マツオニ小体、冷覚としてクラウゼ小体、温覚としてルフィニ小体、痛覚として自由神経終末が分布する³²⁾。真島³³⁾は、ある受容器は特定の種類の刺激(適当刺激)にのみ反応し興奮するが、電気刺激だけはほとんどすべての受容器を興奮させることができると述べた。

1) 刺激部位

電気刺激の部位に関しては、これまで、歯根膜^{34,35)}、歯髓^{36,37)}、口腔粘膜^{12,13)}および顎関節^{38,39)}などが報告されている。

歯の叩打による歯根膜への刺激方法では tap 刺激は、刺激可能な部位が前歯部に限られる上に、下顎運動の各相に正確に同期させることは困難である¹²⁾。歯髓への刺激では、電気刺激を上顎中切歯歯面に付与し、歯髓刺激閾値の研究がなされているが^{36,37)}、閾値を上回る電気刺激を付与した報告は見当たらない。著者らの、開口を目的とした開口反射応答に必要な刺激強度は、歯髓刺激閾値に比較すると高いので、歯髓への刺激は不適当であると考えた。さらに、顎関節への刺激では、経皮的に下顎切痕上部に電気刺激を行うマイオモニタ³⁸⁾があるが、顎関節を直接刺激するには、顎関節包に存在する感覚受容器を興奮させる必要がある³⁹⁾ために、著者らは経皮的なヒトへの応用は困難であると考えた。

渡辺ら¹³⁾はネコおよびヒトにおいて、歯根膜、歯肉、口腔粘膜および顎関節の刺激により、潜時の異なる 2

種類の開口反射応答を観察した。すなわち、短潜時の応答は細い求心性神経をもつ痛覚受容器の興奮により誘発される侵害受容性の反射であり、長潜時の応答は太い求心性神経をもつ触・圧覚受容器の興奮により誘発される非侵害受容性の反射であることを明らかにした。

以上のことから、刺激部位としての歯肉は、最も安全かつ簡便な部位であり、歯根膜および顎関節と同様に触・圧覚および痛覚受容器によって開口反射が誘発されると考えた。さらに刺激部位としては、触・圧覚受容器および痛覚受容器がほぼ均等に分布する部位¹³⁾で、唾液による刺激電流の漏洩が起きにくい上顎犬歯部歯肉頬移行部を選択した。

2) 刺激電極

ヒトの歯肉刺激電極の報告では、山田ら¹²⁾が双極銀線を使用し、顎反射のメカニズムについて、また渡辺ら¹³⁾は、直径7 mmの双極銀製皿電極を使用し、触・圧覚および痛覚の2種の反射の存在を確認している。その中では、刺激電極として直径1 mmの銀ボール電極を使用した際に、比較的刺激強度の弱い時にも、被検者は「刺すような痛み」および「鋭痛」を知覚したが、接触面積を広くすると「痛み」が減少すると述べた。その理由として、機械的刺激によって誘発されるような触・圧覚感覚を惹起しえたものと推定した。

そこで、著者らは予備実験で直径3, 5, 7および8 mmの銀製皿電極を使用したところ、すべての被検者で同じ刺激強度において、直径が大きくなるにつれ「痛み」としての感覚は減少する傾向であった。そこで、直径8 mmの刺激電極では、すべての被検者は最大刺激強度である10 mAにおいても、痛覚のみとしてではなく、問診の結果「トンと軽く叩かれる感じ」という触・圧覚感覚を伴う知覚をえることができた。

以上の結果から、著者らは刺激電極を直径8 mmの銀製皿電極を選択した。

3) 刺激強度

被検者に電気刺激を付与するにあたり、電気的安全性を考慮する必要がある。

電撃には個人差があるが、電源の種類(直流、交流、高周波電流、インパルス)、電流の通路および継続時間などによっても異なる。電撃には、電流が皮膚をとおして体外から流れこみ、再び体外に出る場合に、マクロショックとよばれるものがある。マクロショックの許容最大電流値として、IEC国際安全規格により10 mAが認められている²⁰⁻²²⁾

外耳道電気刺激によるアブミ骨筋反射の測定において、北条ら⁴⁰⁾は0~10 mAまで可変可能な刺激装置を用いた。その結果、反射がはじめて出現する最小の電気刺激の強さの値を筋反射閾値とし、さらに刺激を強めていったとき、被検者が不快な痛みを訴える電気刺激の強さの値を不快閾値として求め、不快閾値をあげても筋反射反応の出現しない場合、反射なしと判定した。不快閾値の測定では、2.0~8.0 mAを示した。山田ら¹²⁾は、2台の定電流回路にて刺激パルス幅(以下、durationと略す)0.2 ms、刺激パルス数(以下、trainと略す)2、刺激パルス間隔(以下、intervalと略す)0.4 msにて行った。また、最大刺激強度としては、閾値の2~4倍を与えているが、いずれの被検者においても、痛みを誘発する程度ではなかった。その際の閾値としては、0.4~0.8 mAであったと報告している。渡辺ら¹³⁾は、duration 0.2 ms, train 1, 3および5, interval 0.5 msの3種類を使用した。また、最大刺激強度としては5 mAを与えたが、被検者の感覚は、「刺すような痛み」までは生じなかった、と報告している。

以上のことから、著者らは定電流刺激duration 1 ms, train 1を用いた。その際、被検者の知覚する閾値は0.25~0.5 mAであった。また、IEC国際安全規格により認められた10 mA²⁰⁻²²⁾を最大刺激強度として用い、刺激電極を直径8 mmとしたことで、いずれの被検者においても痛みのみを誘発することはなかった。

3. 咬みしめ強さ

著者らは、神経・筋機構の不調和を客観的に評価するにあたり、開閉口筋の筋活動が再現性の高い電気刺激によって誘発される^{12,13)}開口反射を臨床応用する第一段階として、下顎運動量である開口量を反射出現の判定基準とするため、開口運動に有効な誘発条件について検討を行った。

咬みしめと四肢の反射の関係について大山ら⁴¹⁾は、補綴物やマウスガードによる咬合状態の相違とスポーツ競技における運動能力の向上との関係を、運動機能の指標として客観的に評価するため、ヒラメ筋H反射に注目し、H反射が咬みしめによってどのように変化するか検索した。その結果、下顎安静位よりも最大咬みしめ時の方が、有意にH反射の振幅が増大し、咬みしめが下肢の筋の反射性興奮の上昇に必要であることを報告した。

ヒトの開口反射応答について中村⁴⁴⁾は、閉口筋の弛緩が主な要素であり、閉口筋が弛緩しなければ開口に

至らないと述べた。また井手⁴²⁾は、ラットの上顎切歯における機械刺激に対して、咬筋の自発性放電は、刺激前の咬筋の活動性が低い時には促進し、逆に活動性が高い時には抑制されると報告した。歯の機械的刺激による閉口筋の興奮反射と抑制反射について、田口⁴³⁾は、下顎切歯に唇舌方向圧刺激、下顎切歯に唇側歯根膜電気刺激および上顎(下顎)切歯周囲歯肉に機械刺激などの3種の back ground activity を与えた結果、咬筋の抑制反射が観察されることを報告した。Yemm⁴⁴⁾は、ヒトで右側小臼歯に顎間距離が15 mm になるような transducer を介在させ咬みしめ強さを2~5 kg で咬ませた状態で口腔粘膜に電気刺激を与えた結果、咬筋と側頭筋の活動がみられない時に開口運動が認められたと報告した。

このことから、back ground activity としての咬みしめが、刺激後の閉口筋の活動抑制すなわち開口反射誘発に関与していることを示している。

一方、Yamada ら⁴⁵⁾は、下顎安静位、切端咬合位、中心咬合位における最大咬みしめ時および持続的開口相において検討した結果、最大咬みしめ時および持続的開口相において潜時28 ms の顎二腹筋 EMG burst が認められたと報告した。さらに Yamada ら⁴⁶⁾は、最大咬みしめ時に上下顎4前歯にラバースタンプ機械刺激を行い、顎二腹筋 EMG を導出した。その結果、弱刺激では9.5 ms、中等度刺激では20 ms、強刺激では30 ms の反射応答を導出した。

これらの報告では、back ground activity としての咬みしめが、刺激後の拮抗筋としての開口筋の活動促進に関与していることを示している。

そこで本研究においては開口反射を誘発させるために、中心咬合位における中等度の咬みしめ強さを規定することにした。咬みしめ強さは、最大咬みしめ時の EMG burst 最大振幅を100%とし、その値を基準としてモニタ上で監視しながら、最大咬みしめ時の25、50および75% MVC の3段階に規定することとした。

さらに、1~10 mA までの刺激強度による開口量、刺激強度、咬みしめ強さおよび被検者の各因子により強く影響を受けるかについて、三元配置分散分析(表1)を行った。その結果、刺激強度、咬みしめ強さおよび被検者のいずれの因子も、単独では分散比については危険率1%で有意に開口量に影響を及ぼすことが判明した。しかし、2因子の相互作用においては、刺激強度と咬みしめ強さ、および咬みしめ強さと被検者の相互作用が危険率1%で有意に開口量に影響を及ぼ

すにもかかわらず、被検者と刺激強度の相互作用は、有意には影響を及ぼさない。

従来における一連の報告から、開口反射応答としての開口には back ground activity としての咬みしめの重要性が示唆されていたが、本研究によって咬みしめは必要不可欠な因子であることが判明した。

そこで、本研究では、中心咬合位における咬みしめ7秒を開口反射応答の開口誘発に必要な手段の back ground activity として用いた。

4. 刺激強度と ID との関係

刺激強度と顎二腹筋の筋放電活動量 ID との関係は、3種咬みしめ強さの1~10 mA 刺激強度における ID (表2)、回帰式および相関係数(表3)、回帰直線(図2)について、検索を行った。その結果、各咬みしめ強さにおいて刺激強度と ID との関係(表3)は、有意な正の相関を認めた。各刺激強度における ID (表2)とその3種咬みしめ強さ間の有意差検定結果(表4)とにおいて、ID は、2 mA の25% MVC vs 75% MVC および3 mA の50% MVC vs 75% MVC を除いて、各咬みしめ強さ間に有意差を認めた。とくに4 mA 以降では、最も強い咬みしめ(75% MVC)が有意に大きく、ついで50% MVC、25% MVC の順にそれぞれ有意に小さかった。

ネコおよびイヌの開口反射では、開口反射は顎二腹筋の能動的活動により生じ、咬筋緊張の抑制がこれを助長するとの報告がある^{47,48)}。一方、Yemm⁴⁴⁾は、ヒトで右側小臼歯に顎間距離が15 mm になるような transducer を介在させ、咬みしめ強さを2~5 kg で咬ませた状態で口腔粘膜に電気刺激を与えた結果、ヒトの開口反射では閉口筋の抑制のみで顎二腹筋の興奮は伴わないと報告した。

しかし本研究では、刺激強度が4 mA 以降になると、閉口筋の咬みしめ強さに対応して、ヒトの開口反射においても顎二腹筋の活動が認められた。

5. 刺激強度と IBM に対する IAM の占める割合との関係

刺激強度と咬筋の刺激前の筋放電活動量 IBM に対する咬筋の刺激後の筋放電活動量 IAM の占める割合との関係は、3種咬みしめ強さの1~10 mA 刺激強度における IBM に対する IAM の占める割合(表5)、回帰式および相関係数(表6)、回帰直線(図3)について、検索を行った。その結果、各咬みしめ強さにおい

て、刺激強度とIBMに対するIAMの占める割合との関係(表6)には、有意な負の相関を認めた。

各刺激強度におけるIBMに対するIAMの占める割合(表5)と、その3種咬みしめ強さ間の有意差検定結果(表7)とにおいて、Mは、6 mAと7 mAにおいて、50% MVCが有意に小さく、ついで75% MVC、25% MVCの順にそれぞれ有意に大きかった。

ヒトの咬みしめ時の開口反射応答に関しては、閉口筋の筋放電活動が認められない時期に出現したとの報告⁴⁾があり、閉口筋の弛緩が重要な要素である。しかし、閉口筋の弛緩を検索するには、刺激前後の筋活動状況を数量的に検索する必要があるが、これらを比較検討した報告はみあたらない。

そこで著者らは、閉口筋の弛緩状況を把握する一助として、刺激前後の閉口筋の筋活動量をもって比較検討することとした。

その結果、本研究のIBMに対するIAMの占める割合の成績によって、6 mAと7 mAの50% MVCは、75% MVCおよび25% MVCに比較し閉口筋の弛緩が顕著に大きいといえる。

6. 刺激強度とIBTに対するIATの占める割合との関係

刺激強度と側頭筋の刺激前の筋放電活動量IBTに対する側頭筋の刺激後の筋放電活動量IATの占める割合との関係は、3種咬みしめ強さの1~10 mA刺激強度におけるIBTに対するIATの占める割合(表8)、回帰式および相関係数(表9)、回帰直線(図4)について検索を行った。その結果、各咬みしめ強さにおいて、刺激強度とIBTに対するIATの占める割合との関係(表9)には、有意な負の相関を認めた。

各刺激強度におけるIBTに対するIATの占める割合(表8)とその3種咬みしめ強さ間の有意差検定結果(表10)とにおいて、Tは、6 mA以降において、50% MVCが有意に小さく、ついで75% MVC、25% MVCの順にそれぞれ有意に大きかった。

先に述べたMの結果と併せて考察すると、IBTに対するIATの占める割合では、6 mAと7 mAにおける50% MVCは、75% MVCおよび25% MVCに比較し閉口筋の弛緩が大きいと考えられる。また、IDでは、6 mAと7 mAにおける75% MVCが、50% MVCおよび25% MVCに比較し有意に大きかった。したがって、Dにおいては咬みしめ強さに対応して活動が高まるが、MおよびTにおいては咬みしめ強さに対応して

弛緩が大きくならないので、6 mAと7 mAにおける開口反射応答は、開口筋および閉口筋のどちらが主働的であるのかは咬みしめ強さに応じて異なることが推察される。

7. 刺激強度とVとの関係

刺激強度と開口量Vとの関係は、3種咬みしめ強さの1~10 mA刺激強度におけるV(表11)、回帰式および相関係数(表12)、回帰直線(図5)について検索を行った。その結果、各咬みしめ強さにおいて、刺激強度とVとの関係(表12)には、有意な正の相関を認めた。

各刺激強度におけるV(表11)と術者の肉眼観察結果、開口反射応答の出現は刺激強度5 mA以降の1 mm以上のVでは明視し得たが、4 mA以前の1 mm以下のVでは明確に判定し得なかった。

各刺激強度におけるV(表11)の3種咬みしめ強さ間の有意差検定結果(表13)、Vは、5 mAで50% MVC $\geq$ 75% MVC>25% MVC、6 mAと7 mAで50% MVC>75% MVC>25% MVCおよび8 mA以降で50% MVC>75% MVC $\geq$ 25% MVCであった。

この理由として、開口筋の顎下腹筋の筋放電活動量IDは、表2と4に示すごとく、刺激強度5 mA以降に強く咬みしめた方が明らかに大きかった結果があること。ついで、閉口筋の咬筋Mと側頭筋Tの刺激前後の筋放電活動量の割合は、表5、7、8および10に示すごとく、刺激強度6 mA以降において強く咬みしめた方が明らかに小さかった結果がある。これらの結果から、刺激強度6 mAと7 mAにおいて強く咬みしめた方が、開口筋の筋放電活動を活発とし、同時に閉口筋の筋放電活動を低下、すなわち弛緩させることによると推察される。さらに、同一刺激強度における開口反射応答のV値に対する各咬みしめ強さの影響順位では、開口筋の場合とは不一致であるが、閉口筋とくに6 mAと7 mAの場合と一致していた。これらのことは、開口反射において、閉口筋の張力は開口筋のそれよりもはるかに大きく、開口筋が収縮しても閉口筋が弛緩しなければ口は開かないと述べた中村¹⁴⁾の報告を裏づける結果となった。

3種咬みしめ強さにおけるVの各刺激強度間の有意差検定結果(表14)では、Vは、5 mAと6 mAの50% MVC間に有意差が認められるが、6 mAと7 mAの50% MVCには認められなかった。この結果、刺激強度6 mAと7 mAでの咬みしめ強さ50% MVCは、術

者が明確な開口反射応答として判定できる開口量Vを最も誘発する条件として有効であることが判明した。

以上のことから、咬みしめ強さ 50% MVC および刺激強度 6 mA から 7 mA とした開口反射応答 (表 11) は、2.23~2.69 mm の開口量Vを誘発することができた。

理学的検査の段格では、深部 (腱) 反射、表在反射および病的反射などの反射の検査が多用されている。これらの反射の評価は、術者の肉眼で反応部位の運動量を主観的に判定している⁴⁻⁶⁾。

しかし、本研究の結果、開口反射応答としての開口量に客観性を与えることができたので、このVの値を反射応答の正常範囲と決め、正常 (+) と判定した。そして、著しい開口量 (2.70 mm 以上) が認められる開口反射応答の場合を亢進(++), 僅かな開口量 (2.22 mm 以下) が認められる場合を低下 (±) および開口運動が認められない場合を消失 (-) と判定することにした。

そこで著者らは、本研究で得られた健常有歯顎者における開口誘発に有効な条件を顎機能異常者に付与し、開口反射応答として開口量Vの値を用いて臨床的判定を行い、さらに、時間様相および筋放電活動様相についても検討を加える計画である。

V. 結 論

著者らは、開口反射応答による資料を顎口腔系機能検査における開閉口筋や下顎運動の診査および診断の一助とするため、本研究では開口反射応答としての開口量を反射出現の判定基準とすることを目的として、開口に有効な誘発の条件について検討を加え、以下の結論を得た。

1. 開口反射応答として開口を誘発するには、咬みしめが必要不可欠な因子であることが判明した。
2. 刺激強度と顎二腹筋の筋放電活動量との関係は、刺激強度 4 mA 以降では、最も強い咬みしめ (75% maximal voluntary contraction) が有意に大きく、ついで 50% MVC, 25% MVC の順にそれぞれ有意に小さかった。
3. 刺激強度と咬筋の刺激前の筋放電活動量に対する咬筋の刺激後の筋放電活動量の占める割合との関係は、刺激強度 6 mA と 7 mA において、50% maximal voluntary contraction が有意に小さく、ついで 75% MVC, 25% MVC の順にそれぞれ有意に大きかった。

4. 刺激強度と側頭筋の刺激前の筋放電活動量に対する側頭筋の刺激後の筋放電活動量の占める割合との関係は、刺激強度 6 mA 以降において、50% maximal voluntary contraction が有意に小さく、ついで 75% MVC, 25% MVC の順にそれぞれ有意に大きかった。

5. 刺激強度と開口量との関係は、刺激強度 6 mA と 7 mA において、50% maximal voluntary contraction が有意に大きく、ついで 75% MVC, 25% MVC の順にそれぞれ有意に小さかった。

6. 以上のことから、咬みしめ強さ 50% maximal voluntary contraction および刺激強度 6 mA と 7 mA においては、術者が明確に判定できる開口反射応答として 2.23~2.69 mm の開口量を得ることができたので、この開口量の範囲を反射判定の正常範囲として用いることにした。

文 献

- 1) 古河太郎, 本田良行: 現代の生理学, 299~331, 金原出版, 東京, 1987.
- 2) 和 吉利: 内科診断学, 1~63, 金芳堂, 東京, 1986.
- 3) 山中 學: 臨床検査診断学, 2~7, 医学書院, 東京, 1985.
- 4) 島田康夫, 中西孝雄: ベッドサイドでの診方 運動機能のとりえ方 反射の診方, 総合臨床, 24: 778~783, 1975.
- 5) 荒木淑郎: 反射検査法 (その1) 筋伸展反射, 脳神経外科, 4: 619~624, 1976.
- 6) 荒木淑郎: 反射検査法 (その2), 表在反射・病的反射, 脳神経外科, 4: 721~726, 1976.
- 7) Kimura, J.: Electrodiagnostic study of trigeminal nerve, Neurology, 20: 574~583, 1970.
- 8) Lyon, L.W. and Van Allen, M.V.: Alteration of the orbicularis oculi reflex by acoustic neuroma, Arch Otolaryng, 95: 100~103, 1972.
- 9) Kimura, J.: Effect of hemispherical lesions on the contralateral blink reflex, Neurology, 24: 168~174, 1974.
- 10) Kimura, J.: Disorder of interneurons in parkinsonism —the orbicularis oculi reflex to paired stimuli, Brain, 96: 87~96, 1973.
- 11) Kimura, J., Giron, L.T. and Young, S.: Electrophysiological study of bell palsy, Arch. Otolaryngol, 102: 140~143, 1976.
- 12) 山田好秋, 原口尚久, 大井久美子ほか: 電気刺激により誘発されるヒトの顎反射, 顎機能, 5: 39~42, 1986.
- 13) 渡辺 誠, 佐々木啓一, 稲井哲司ほか: 電気刺激により誘発される開口反射応答, 顎機能, 5: 77~82, 1986.

- 14) 中村嘉男: 咀嚼運動のしくみ, 東京医科歯科大学歯学部, 顎口腔総合研究施設編, 咀嚼のしくみ, 259~300, 日本歯科評論, 東京, 1987.
- 15) 高田 充: 顎運動の中枢神経機構 咀嚼筋運動ニューロンの興奮と抑制, 東京医科歯科大学歯学部, 顎口腔総合研究施設編, 顎運動とそのメカニズム, 188~241, 日本歯科評論, 東京, 1977.
- 16) Harrison, F. and Corbin, K.B.: The central pathway for the jaw-jerk, *Amer J Physiol*, 135: 439~445, 1941.
- 17) 津留宏道, 広田賢徳, 丸山剛郎ほか: 各種食品咀嚼時における咀嚼筋活動の筋電図学的研究 I. 正常咬合者について, 補綴誌, 10: 163~172, 1966.
- 18) 深水皓三: 総義歯の第1大臼歯部における咀嚼力および咬合力に関する研究, 補綴誌, 17: 491~516, 1974.
- 19) 丸山剛郎, 西尾公一: 新しい下顎運動記録装置 Sirognathograph と同解析コンピュータ・システム, 歯界展望, 63: 1535~1546, 1984.
- 20) 長尾 透: 9 安全・規格・教育, 日本エム・イー学会編, 医用電子生体工学 ME 事典, 163~187, コロナ社, 東京, 1981.
- 21) Dalziel, C.F.: Electric shock hazard, *IEEE spectrum*: 41~50, 1972.
- 22) 伊藤晴夫: 電撃の生理学と安全対策, 臨床検査, 16: 268~273, 1972.
- 23) 荒木淑郎: 神経学的検査, 大友英一編, 神経の臨床, 2, 1~31, 中外医学社, 東京, 1986.
- 24) Mumenthaler, M. (室 孝雄): *Neurologie* (神経疾患, 1~43, 文光堂, 東京, 1983), 1979.
- 25) 窪田金次郎: 顎運動における神経筋機構の解剖学的背景, 口病誌, 36: 1~14, 1969.
- 26) Szentagothai, J.: Anatomical considerations of monosynaptic reflex arcs, *J Neurophysiol*, 11: 445~454, 1948.
- 27) Sumino, R.: Central neural pathways involved in the jaw-opening reflex in the cat, edited by Dubner, R. and Kawamura, Y., *Oral-facial sensory and motor mechanisms*, 315~331, Appleton-Century-Crofts, New York, 1971.
- 28) Jerge, C.R.: The function of the nucleus supratrigeminalis, *J Neurophysiol*, 26: 393~402, 1963.
- 29) Kidokoro, Y., Kubota, K., Shuto, S. et al: Possible interneurons responsible for reflex inhibition of motoneurons of jaw-closing muscles from the inferior dental nerve, *J Neurophysiol*, 31: 709~716, 1968.
- 30) Goldberg, L.J. and Nakamura, Y.: Lingually induced inhibition of masseteric motoneurons, *Experientia*, 24: 371~373, 1968.
- 31) 坂田三弥: 口腔領域からの感覚情報, 東京医科歯科大学歯学部, 顎口腔総合研究施設編, 顎運動とそのメカニズム, 128~130, 日本歯科評論, 東京, 1976.
- 32) Sinclair, D.: *Cutaneous sensation*, 6~12, Oxford University Press, London, 1967.
- 33) 真島英信: 生理学, 93~112, 文光堂, 東京, 1978.
- 34) 佐々木啓一, 渡辺 誠, 宗形芳英ほか: 歯牙叩打による顎二腹筋の応答, 顎機能, 1: 65~68, 1982.
- 35) 佐々木啓一, 稲井哲司, 渡辺 誠ほか: 同側および対側歯根膜刺激によって誘発される開口反射応答とその相互作用, 顎機能, 5: 157~161, 1986.
- 36) Simizu, T.: Tooth pre-pain sensation elicited by electrical stimulation, *J Dent Res*, 43: 467~475, 1964.
- 37) 鈴木祐平, 若林 始, 堀内 博: 歯根膜刺激による歯髄疼痛閾値の変化について, みちのく歯学誌, 13: 12~15, 1982.
- 38) Jankelson, B., 三谷春保, 山下 敦ほか: Myo-monitor の理論と実際, 歯界展望, 40: 945~952, 1972.
- 39) 稲井哲司: 顎関節刺激による二種の開口反射応答に関する研究, 歯基礎誌, 28: 605~619, 1986.
- 40) 北条和博, 大野吉昭, 細川 智: 外耳道電気刺激によるアブミ骨筋反射の測定, *Audiology Japan*, 18: 283~289, 1975.
- 41) 大山喬史, 宮原隆雄, 鈴木るいほか: 咬合と競技力, 日歯医師会誌, 42: 1255~1265, 1991.
- 42) 井手龍平: ラット歯根膜刺激における咬筋反射パターンの分析, 岐歯学誌, 8: 93~107, 1980.
- 43) 田口 洋: ラット切歯の機械的刺激により誘発される閉口筋の興奮および抑制反射, *Jpn J Oral Biol*, 26: 1228~1244, 1984.
- 44) Yemm, R.: Reflex jaw opening following electrical stimulation of oral mucous membrane in man, *Arch Oral Biol*, 17: 513~523, 1972.
- 45) Yamada, Y. and Ash, Jr, M.M.: An electromyographic study of jaw opening and closing reflex in man, *Arch Oral Biol*, 27: 13~19, 1982.
- 46) Yamada, Y., Stohler, C.S., Shimada, K. et al: Short and long latency jaw-opening reflex responses elicited by mechanical stimulation in man, *Arch Oral Biol*, 30: 197~200, 1985.
- 47) 藤本順三: 顎運動機構の神経生理学的研究 開口反射について, *Jpn J Physiol*, 19: 1263~1271, 1957.
- 48) Kidokoro, Y., Kubota, K., Shuto, S. et al: Reflex organization of cat masticatory muscles, *J Neurophysiol*, 31: 695~708, 1968.