

—原 著—

人工歯根の機械的刺激による閉口筋反射 および圧感覚閾値に関する研究

山崎 稔 草刈 玄 島田 久八郎*

新潟大学歯学部歯科補綴学第二教室

(主任：草刈 玄教授)

*新潟大学歯学部口腔生理学教室

(主任：島田久八郎教授)

Studies on jaw closing muscle reflex by mechanical stimulations
and pressure thresholds of bioactive endosseous dental implant in man

Minoru YAMAZAKI, Haruka KUSAKARI, Kyuhachiro SHIMADA*

2nd Department of Prosthetic Dentistry, School of Dentistry, Niigata University

(Chief: Prof. Haruka KUSAKARI)

**Department of Oral Physiology, Niigata University School of Dentistry*

(Chief: Prof. Kyuhachiro SHIMADA)

Key words: dental implant, mechanical stimulation,
background activity, periodontal jaw closing muscle reflex,
pressure threshold and PERIOTEST value,

Abstract

The purpose of this study is to discuss an ideal superstructure of the dental implant. The response of the jaw closing muscles by mechanical stimulations to the implants was studied in man as compared with the tonic periodontal jaw closing muscle reflex of the adjacent natural teeth. So the pressure thresholds of the implants and the adjacent natural teeth were examined.

The findings were obtained as follows:

1. There was pressure sensibility in man with the bioactive endosseous dental implant. But the pressure thresholds of the implants were much higher than those of the adjacent natural teeth.
2. The pressure thresholds of the implants could be measured at 1 day after implantation, and then decreased continually till 7~8 weeks after implantation, since then the pressure thresholds were held constant.

3. The pressure thresholds of the implants after the function of occlusion showed a tendency to decrease.
4. Under anesthesia at the gingiva around the implants, the pressure thresholds of the implants increased in all cases, in succession with bone anesthetized, these increased still more.
5. The axial mechanical stimulation to the implants evoked not only the tonic excitatory reflex but also the tonic inhibitory reflex of the jaw closing muscles like the tonic periodontal jaw closing muscle reflex of the natural teeth.
6. And the reflex responses of the implants were occurred depending upon the state of the background activity of the jaw closing muscles. These results suggested that there also exists the feedback regulation of the jaw closing muscles by the mechanical stimulation to the implants.

要 旨 緒 言

理想的な人工歯根上部構造のあり方を検討する目的で、補綴処置のため20名のヒトに植立されたMgO-CaO-SiO₂-P₂O₅系結晶化ガラス (HOYA社製) およびハイドロキシアパタイト溶射チタン (スミシコン®: 住友化学工業社製) の生体活性型人工歯根の圧感覚閾値および人工歯根の機械的刺激による閉口筋反射について研究を行った。

顎骨と癒着する人工歯根においても圧感覚は存在した。しかし、その閾値は近接天然歯の閾値より大きかった。圧感覚閾値は人工歯根植立後1日で測定され、経時的に低下し植立後7~8週以降はほぼ一定であった。咬合機能を営んだ人工歯根の圧感覚閾値は低下する傾向を示した。人工歯根頸部歯肉および根端相当部の浸潤麻酔により圧感覚閾値は上昇し、人工歯根周囲に神経性の関与が考えられた。

人工歯根の機械的刺激により天然歯の緊張性歯根膜閉口筋反射に似た持続的な反射性筋活動が閉口筋に生じた。人工歯根および近接歯刺激による閉口筋反射は刺激前の閉口筋の興奮状態 (Background activity) が低い時は興奮反射が出現し、Background activityが高い時は抑制反射が出現することが多かった。このように人工歯根からの閉口筋反射も近接天然歯と同様に Background activityと共に変化し、人工歯根からも閉口筋へ神経性の制御機構が働くことが明らかになった。

人工歯根の植立方法や材料の開発が進み、人工歯根は歯科臨床の場で応用されるようになってきた。従来、人工歯根の研究に関しては病理組織学的¹⁻⁵⁾、理工学的⁶⁾立場より数多くの報告がなされている。

人工歯根は顎口腔系に調和し、天然歯と同じような生理的機能を果たさなければならないものと考えられる。しかし、人工歯根の生理学的研究は少なく、一部生体不活性型人工歯根の圧感覚および一次感覚線維の存在が報告⁷⁻¹³⁾されているに過ぎない。特に、咬合圧の制御に関わる反射の有無は人工歯根上部構造の補綴方法を決定する不可欠な因子であるが、生体活性型および生体不活性型人工歯根の両者においても確認されていない。

そこで本研究は理想的な人工歯根の上部構造のあり方を検討する目的で、ヒトに植立された生体活性型人工歯根の圧感覚閾値について追求し、さらに人工歯根の機械的刺激による閉口筋反射の有無について近接天然歯の機械的刺激により惹起する緊張性歯根膜閉口筋反射と対比して検討を行った。

実 験 方 法

1. 被験者および人工歯根の種類

被験者は新潟大学歯学部付属病院第2補綴科において、補綴処置のため下顎臼歯部に人工歯根を

表1 被験者の番号、年齢、性別、植立部位および人工歯根の種類

被験者番号	年齢	性別	植立部位	人工歯根の種類
1	61	男	7	結晶化ガラス
2	47	男	7	〃
3	59	男	6	〃
4	47	女	6	〃
5	47	女	7	〃
6	65	女	6	〃
7	47	女	7	〃
8	38	男	7	〃
9	51	女	7	〃
10	46	男	6	〃
11	31	女	7	〃
12	37	女	6	〃
13	25	女	6	〃
14	58	女	6	〃
15	45	男	6	〃
16	58	男	6	〃
17	42	女	6	スミシコン®
18	49	女	7	〃
19	60	男	6	〃
20	47	女	7	〃

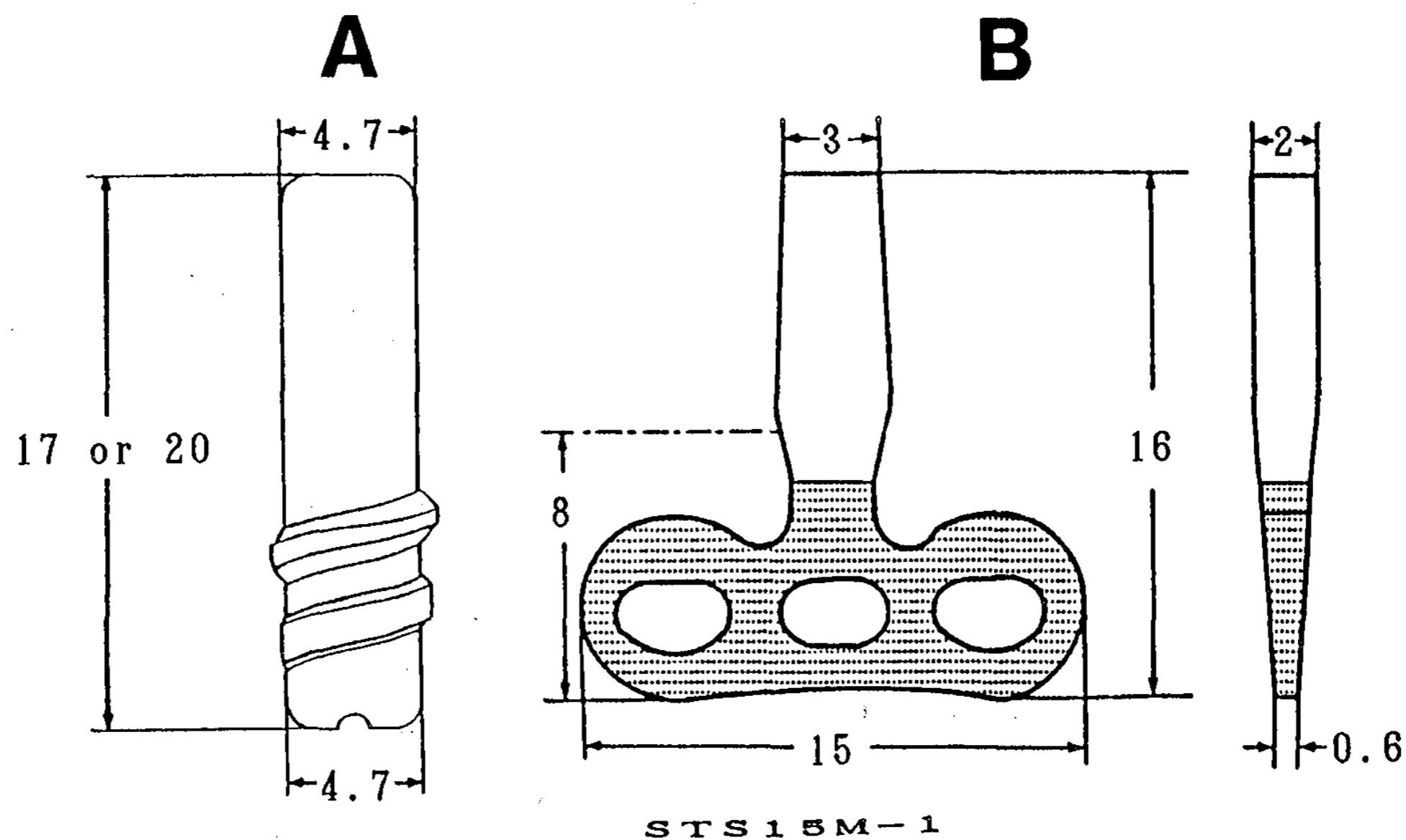


図1 使用した人工歯根
 A: 結晶化ガラス、B: スミシコン® (単位mm)
 □ プラズマ溶射

植立し、今回の実験主旨を説明して協力の得られた患者20名である(表1)。

植立されている人工歯根は、ロッド型 MgO-CaO-SiO₂-P₂O₅ 系結晶化ガラスおよびブレード型ハイドロキシアパタイト溶射チタンで両者とも顎骨と癒着する生体活性型である(図1)。

2. 人工歯根の圧感覚閾値およびペリオテスト値(PT値)の測定

1) 圧感覚閾値の測定

圧感覚閾値の測定には、ナイロン糸を応用した von Frey 型刺激子¹⁴⁾を製作した(表2)。刺激子はナイロン糸の太さが増すにしたがい刺激の強さが大きくなる。

人工歯根および近接歯の咬合面部を歯軸方向に刺激し、圧感覚閾値の測定を行った。

スミシコン®の4名について、咬合が関与して

表2 刺激子の種類

スミシコン [®]		結晶化ガラス	
No.	刺激の強さ (g)	No.	刺激の強さ (g)
1	1.2	1	1.7
2	2.3	2	2.4
3	4.6	3	4.4
4	7.0	4	7.4
5	10.0	5	12.4
6	14.0	6	14.8
7	19.3	7	30.2
8	24.2	8	37.4
9	34.0	9	43.3
10	43.1	10	59.4
11	60.6	11	89.6
12	72.7	12	150.1
13	82.5		
14	108.3		
15	161.4		
16	199.0		

いない状態で、人工歯根植立後1日から植立後34週の上部構造仮着前までの圧感覚閾値の経時的変化を観察した。

結晶化ガラス人工歯根については、16名中の10名に咬合が関与していない状態で圧感覚閾値を測定した。16名中の9名で上部構造を仮着後0.5～17週人工歯根に機能を営ませた後、上部構造を撤去した状態で測定した。このうち6名については、上部構造仮着前後の圧感覚閾値の測定を行った。

また5名の結晶化ガラス人工歯根被験者に対して人工歯根周囲組織における神経性の関与の有無について検討した。人工歯根および近接歯頸部歯肉近遠心に約0.4mlの塩酸リドカイン（藤沢製薬、エピネフリン含有キシロカイン[®]注射液2%）で浸潤麻酔を行い、約5分後圧感覚閾値を測定した。引き続き人工歯根および近接歯根端相当部に0.4～0.8ml浸潤麻酔を行い、約5分後閾値を測定した。

2) PT値の測定

人工歯根および近接歯の動揺度を客観的に診断するため、ペリオテスト[®]（シーメンス社製）を用いた¹⁵⁾。圧感覚閾値測定時にPT値を測定した。4回以上測定し、安定した値をその人工歯根および近接歯のPT値とした。

3. 人工歯根および近接歯からの

閉口筋反射の測定

測定は被験者に仰臥位をとらせた状態で行った。人工歯根植立後7～37週間に、各々の被験者につき1～6回測定を行った。

人工歯根および近接歯の機械的刺激は、ストレンゲージを貼付したアクリルレジン製の刺激棒を用い、咬合面部を歯軸方向に荷重約700g、持続時間約3秒の刺激とした。人工歯根植立反対側（筋電図記録側）の臼歯部で厚さ12mmのバイトブロックを咬ませ、閉口筋を等尺性収縮させ、顎位を一定にした。その随意運動により刺激前の閉口筋の興奮状態（Background activity）を変化させ、刺激を加えた。バイトブロックにストレン

ゲージを埋め込み咬合圧の指標とした。

反射性筋活動を電極間距離25mmの表面電極で人工歯根植立反対側の咬筋および側頭筋前腹より記録した。1人の被験者には咬筋に双極性の針電極（直径50ミクロンのニクロム線2本を封入したもの）を用いた。

刺激圧および咬合圧を校正した後に、機械的刺激およびバイトブロックによる咬合圧をホイーストブリッジを介して、キャリアアンプで増幅しデータレコーダに収録した。咬筋および側頭筋の筋電図を生体アンプで増幅後、データレコーダに収録しデータを実験後に速度変換してペンレコーダにて再生および記録した。反射性筋活動のスパイク数が算定可能なデータでは定量化を行った。刺激前の1秒間のスパイク数を Background activity とし、刺激の static phase の中間の1秒間のスパイク数の増減を反射効果とした。

結 果

1. 圧感覚閾値とPT値

1) 咬合機能が関与していない人工歯根

(1) 人工歯根植立後の経過

スミシコン®の4名の被験者について、人工歯根植立後1日から植立後34週の上部構造仮着前までの圧感覚閾値の経過を観察した。

人工歯根の圧感覚は、植立後1日で確認された。その閾値は82.5~199.0gと近接歯の2.3~4.6gに

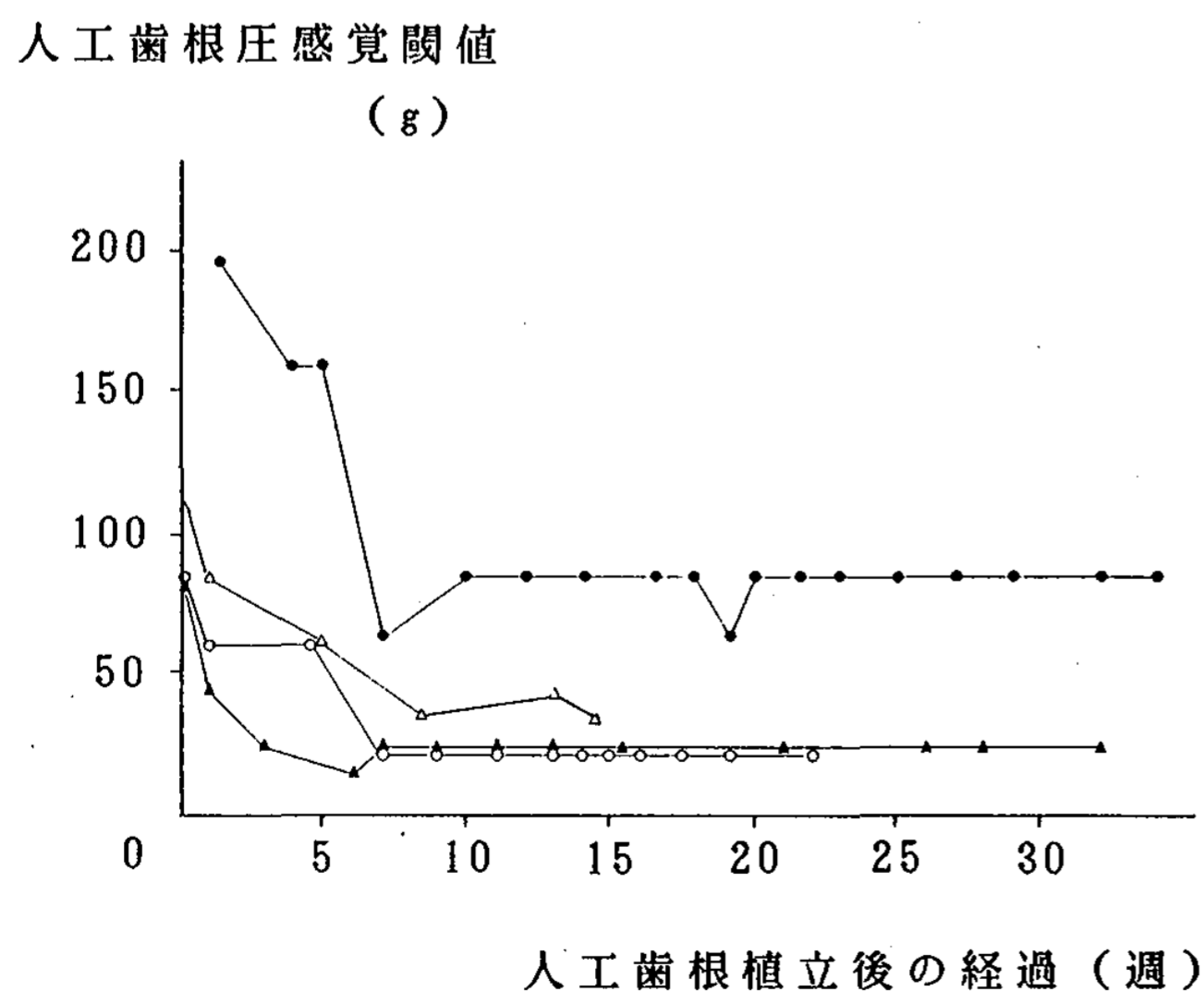


図2 人工歯根植立からの圧感覚閾値の経過
●：被験者番号17 ○：被験者番号18
▲：被験者番号19 △：被験者番号20

比較すると高いが、時間の経過とともに19.3~82.5gまで低下し、植立後7~8週以降ほぼ一定になった（図2）。この傾向は全ての被験者でみられた。

その中で圧感覚閾値が比較的低い値で安定した症例と比較的高い値で安定した症例があった。しかし、その両者とも近接歯の閾値より高かった。

圧感覚閾値が低い値で安定した人工歯根は、植立後7~8週で近接歯の約5~7倍になった。すなわち、被験者番号19の圧感覚閾値は、植立後1日が82.5g、植立後7週で24.2gまで閾値が低下し、それ以降24.2gで安定した。また被験者番号18の圧感覚閾値は、植立後2日が82.5g、植立後7週で19.3gまで低下し、それ以降19.3gで安定した。しかし、圧感覚閾値が高い値で安定した人工歯根は近接歯の約20倍になった。すなわち、被験者番号17の圧感覚閾値は、植立後1.5週の圧感覚閾値が199.0g、植立後7週で72.7gまで低下し、そして10週以降82.5gにほぼ安定した。全ての症例の近接歯の圧感覚閾値は2.3~4.6gであった。

圧感覚閾値が低い値で安定した3例の人工歯根の植立直後のPT値は0、3および7と比較的低く、高い値で安定した人工歯根のPT値は15と比較的高かった。人工歯根の初期固定の良否が以降の圧感覚閾値に影響する可能性が考えられた。

また、人工歯根のPT値は植立手術直後から測定を開始し、圧感覚閾値と共に経過を観察した。

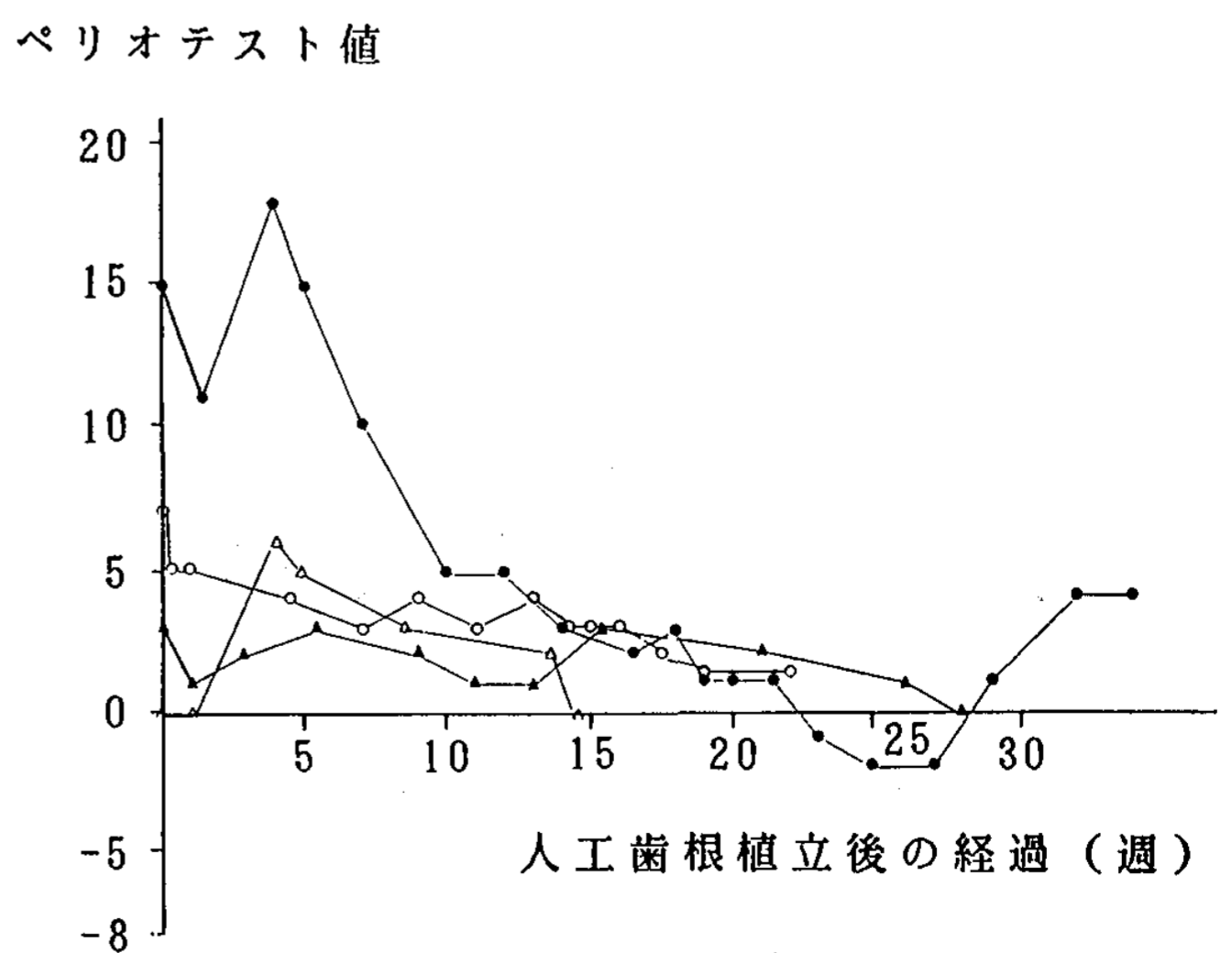


図3 人工歯根植立からのペリオテスト値の経過
●：被験者番号17 ○：被験者番号18
▲：被験者番号19 △：被験者番号20

PT値は植立時より一度値が低下し、植立後3～6週で上昇して、その後徐々に低下した(図3)。この傾向は4名の被験者中3名にみられた。人工歯根植立時のPT値が高くて、植立後の経過が長くなると、PT値は徐々に低下する傾向にあった。

スミシコン®と結晶化ガラスの植立からの病理組織学的に治癒の経過を比較すると、時間的にはほぼ同一である^{1,3)}ので、結晶化ガラスの植立後17～33.5週は安定した時期と考えられる。以降、結晶化ガラスの安定した一時点および咬合機能が0.5～17週関与した後の一時点の圧感覚閾値について結果を述べる。

(2) 安定期の人工歯根

結晶化ガラスは、植立後2週で歯根部表面のほぼ全周にわたり形成された骨により覆われ、12週

で安定する³⁾。このため植立後17週以上経過した結晶化ガラスは安定した時期にあると考えられる。

植立後17週以上経過した結晶化ガラスについて、圧感覚閾値およびPT値を測定した。被験者は年齢31～65歳、平均年齢48.7歳の10名である(表3)。

人工歯根圧感覚閾値は最低値12.4～最高値150.1g (59.3±40.3g, Mean±S. D.) で、近接歯は最低値1.7～最高値12.4g (6.5±4.6g, Mean±S. D.) であった。両者には有意差が認められた(p<0.01)。

人工歯根圧感覚閾値と年齢については、50歳以下の被験者の圧感覚閾値が30.2g、37.4g、43.2g、43.2gと人工歯根の圧感覚閾値の中では比較的 low、50歳以上の被験者の圧感覚閾値が12.4gの1名を除いて89.6g、89.6g、150.1gと高い値を示した。このように50歳以上の被験者の人工歯根圧

表3 咬合の関与していない人工歯根および近接歯の圧感覚閾値とペリオテスト値

被験者番号	測定時の 植立期間(週)	人工歯根		近接歯	
		圧感覚閾値(g)	ペリオテスト値	圧感覚閾値(g)	ペリオテスト値
2	22	30.2	-3	12.4	14
3	17	150.1	-4	2.4	6
6	22	89.6	-5	1.7	9
7	20	59.4	-6	12.4	5
8	30	43.3	-5	12.4	6
9	19	12.4	-4	4.4	7
10	33.5	37.4	-6	2.4	19
11	18	43.3	-4	7.4	-1
14	19	89.6	4	7.4	5
15	22	37.4	-3	1.7	20
Mean±S.D.		59.3±40.3	-3.6±2.9	6.5±4.6	9.0±6.7

表4 咬合が関与した人工歯根および近接歯の圧感覚閾値とペリオテスト値

被験者番号	測定時の 植立期間(週)	仮着から 測定まで の期間(週)	人工歯根		近接歯	
			圧感覚閾値(g)	ペリオテスト値	圧感覚閾値(g)	ペリオテスト値
3	25	0.5	150.1	-4	1.7	5
4	28	12	4.4	-4	4.4	9
6	34	6	2.4	-3	1.7	5
9	28	5	14.8	-4	4.4	7
10	40	17	2.4		2.4	
12	26	4	43.3	-4	1.7	-2
13	31	7	89.6	-4	1.7	5
14	21	5	30.2	-4	1.7	11
15	26	4	14.8	-3	1.7	35
Mean±S.D.			41.5±48.6	-3.8±0.6	2.4±1.2	9.4±11.0

感覚閾値は、50歳以下の被験者の人工歯根圧感覚閾値より高い傾向を示した。

PT値は人工歯根が最低値 -6 ～最高値 4 (-3.6 ± 2.9 , Mean \pm S. D.)、近接歯が最低値 -1 ～最高値 20 (9.0 ± 6.7 , Mean \pm S. D.)と人工歯根が近接歯より有意の差をもって低かった ($p < 0.01$)。結晶化ガラスは生体活性が強く顎骨と強固に癒着することによるものと考えられた。

2)咬合の影響

結晶化ガラス人工歯根と近接歯を連結した上部構造を仮着し0.5～17週の間咬合など機能させ、合着する前に上部構造を撤去した人工歯根の圧感覚閾値およびPT値を測定した。被験者は年齢25～65歳、平均年齢48.1歳の9名である(表4)。

その中で同一被験者の咬合が関与する前と咬合が関与した後の人工歯根圧感覚閾値およびPT値を6名の被験者で比較した。咬合が関与する前の人工歯根圧感覚閾値は最低値 12.4 ～最高値 150.1 g (69.4 ± 50.3 g, Mean \pm S. D.)、咬合が関与した後の人工歯根圧感覚閾値は最低値 2.4 ～最高値 150.1 g (36.1 ± 56.7 g, Mean \pm S. D.)であった。人工歯根に機能を営ませるとその閾値は低下する傾向を示した。

咬合前後で圧感覚閾値が減少した人工歯根は4例でそれぞれ被験者番号10が仮着期間17週で圧感覚閾値 37.4 gから 2.4 g、被験者番号6が仮着期間6週で 89.6 gから 2.4 g、被験者番号14が仮着期間5週で 89.6 gから 30.2 g、被験者番号15が仮着期間4週で 37.4 gから 14.8 gと低下した。圧感覚閾値がほとんど変化しなかった人工歯根は2例で被験者番号9が仮着期間5週で 12.4 gから 14.8 g、被験者番号3が仮着期間0.5週で 150.1 gから 150.1 gであった。仮着期間と咬合が関与した後の人工歯根圧感覚閾値には負の相関があった ($p < 0.05$)。また咬合が関与する前の圧感覚閾値が高い人工歯根は咬合の影響が大きく、咬合が関与する前の圧感覚閾値が低い人工歯根は咬合の影響が少なかった。

咬合が関与する前の人工歯根のPT値は最低値 -6 ～最高値 4 (-3.0 ± 3.9 , Mean \pm S. D.)、

咬合が関与した後の人工歯根のPT値は最低値 -4 ～最大値 -3 (-3.6 ± 0.5 , Mean \pm S. D.)であった。このように人工歯根のPT値は咬合によって影響を受けなかった。

上記の6名を含んだ咬合の影響を受けた人工歯根圧感覚閾値は最低値 2.4 ～最高値 150.1 g (41.5 ± 48.6 g, Mean \pm S. D.)で、近接歯は最低値 1.7 ～最高値 4.4 g (2.4 ± 1.2 g, Mean \pm S. D.)であった。人工歯根と近接歯との圧感覚閾値には有意差が認められた ($p < 0.05$)。咬合の影響を受けた人工歯根の圧感覚閾値は 15 g以内が9名の被験者中5名と咬合の影響を受けていないものの10名の被験者中1名に比較して多かった。また圧感覚閾値が 2.4 g、 4.4 gと近接歯と同等な値まで低下した被験者が3名みられた。

咬合の影響を受けていない人工歯根と影響を受けた人工歯根の植立後のほぼ同一時期の圧感覚閾値を比較すると、咬合の影響を受けていない人工歯根では植立後20週で 59.4 g、22週で 89.6 g、37.4g、30.2g、33.5週で 37.4 gであるのに対して、咬合の影響を受けた人工歯根は植立後21週で 30.2 g、34週で 2.4 gと植立後の同一時期でも咬合の影響を受けた人工歯根の方が圧感覚閾値は低い傾向にあった。

PT値は人工歯根が最低値 -4 ～最高値 -3 (-3.8 ± 0.6 , Mean \pm S. D.)で、近接歯が最低値 -2 ～最高値 35 (9.4 ± 11.0 , Mean \pm S. D.)と人工歯根と近接歯には有意差がみられた ($p < 0.05$)。

3)麻酔による影響

人工歯根周囲組織の圧感覚に対する神経性の関与の有無を検討するため麻酔による圧感覚閾値の影響を調べた(表5)。

植立後21週以上経過し咬合が4週以上関与した5名の結晶化ガラス人工歯根被験者について行った。測定は麻酔前、頸部歯肉の浸潤麻酔後とさらにそれに続き行った根端相当部への浸潤麻酔後とした。浸潤麻酔の効果は歯肉に針を刺しても痛みを感じないこと、人工歯根および近接歯の手指による刺激で被験者が感覚の鈍麻を知覚することの

表5 圧感覚閾値の麻酔による影響
(単位:g)

被験者番号	測定箇所	麻酔前	頸部歯肉麻酔後	根端相当部麻酔後
4	近接歯	4.4	30.2	37.4
	人工歯根	4.4	37.4	59.4
6	近接歯	1.7	59.2	89.6
	人工歯根	2.4	89.6	150.1
10	近接歯	2.4		30.2
	人工歯根	2.4		59.4
14	近接歯	1.7	12.4	12.4
	人工歯根	30.2	>150.1	>150.1
15	近接歯	1.7	4.4	12.4
	人工歯根	14.8	59.4	150.1

2点により確認した。

頸部歯肉の麻酔により、すべての人工歯根および近接歯の圧感覚閾値は麻酔前の値より大きくなった。続く根端相当部への麻酔により、閾値ほとんどの症例においてさらに高くなった。麻酔による効果は近接歯より人工歯根の方が大きかった。

近接歯と人工歯根の麻酔前の圧感覚閾値が同値の被験者で麻酔の影響を比較すると、被験者番号

4では人工歯根の麻酔前が4.4g、頸部歯肉麻酔後が37.4g、根端相当部麻酔で59.4g、近接歯が各々4.4g、30.2g、37.4g、被験者番号10では人工歯根の麻酔前が2.4g、根端相当部麻酔が59.4g、近接歯が各々2.4g、30.2gであった。このように人工歯根の閾値の方が麻酔により上昇した。麻酔の影響が大きかった被験者番号6では頸部歯肉麻酔により人工歯根で麻酔前の37.3倍の閾値になり、根端相当部麻酔により麻酔前の62.5倍、近接歯で各々34.8倍、52.7倍になった。麻酔効果の少なかった被験者番号15では頸部歯肉麻酔により人工歯根で麻酔前の4倍の閾値になり、根端相当部麻酔により麻酔前の10倍、近接歯で各々2.6倍、7.3倍になった。圧感覚閾値の麻酔による影響を麻酔前の閾値の比で表しても、人工歯根の方が近接歯より圧感覚閾値が上昇した。人工歯根周囲にも圧感覚に携わる神経系の関与があると考えられた。

2. 人工歯根からの閉口筋反射

1)興奮反射

人工歯根の機械的刺激で閉口筋に持続的反射性筋活動が認められた。これは近接歯の機械的刺激

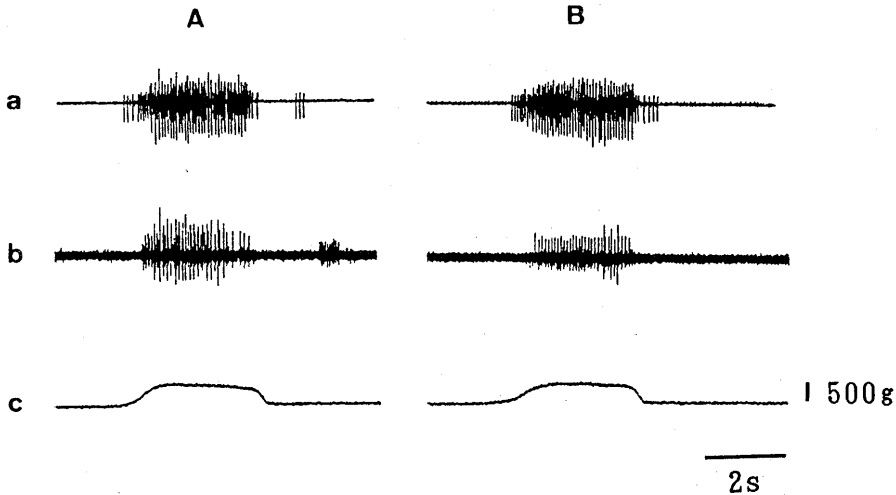


図4 人工歯根の機械的刺激による閉口筋興奮反射
A: 近接歯 14、B: 人工歯根
a: 咬筋筋電図(針電極)、b: 側頭筋筋電図、c: 刺激
人工歯根の機械的刺激により、近接歯の緊張性歯根膜咬筋反射と似た持続性の興奮反射が咬筋および側頭筋に現れた。

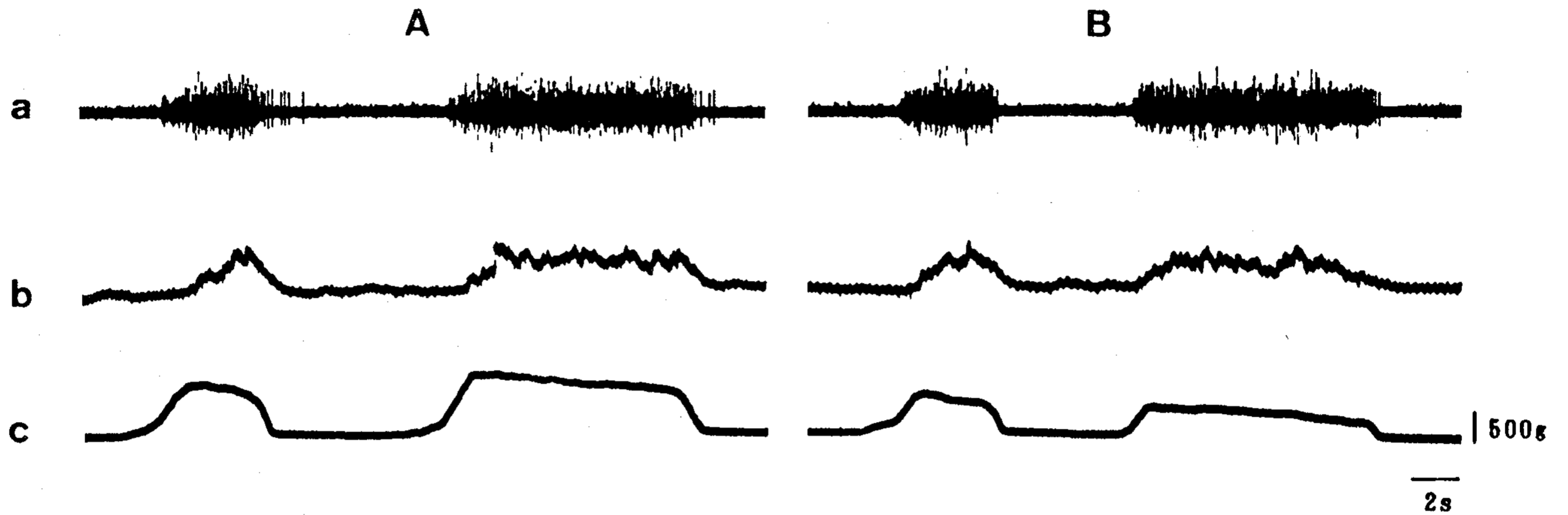


図5 人工歯根の機械的刺激による咬筋興奮反射
 A: 近接歯 14、B: 人工歯根
 a: 咬筋筋電図、b: 積分咬筋筋電図、c: 刺激
 人工歯根および近接歯の機械的刺激による反射は、その効果の adaptation が長かった。

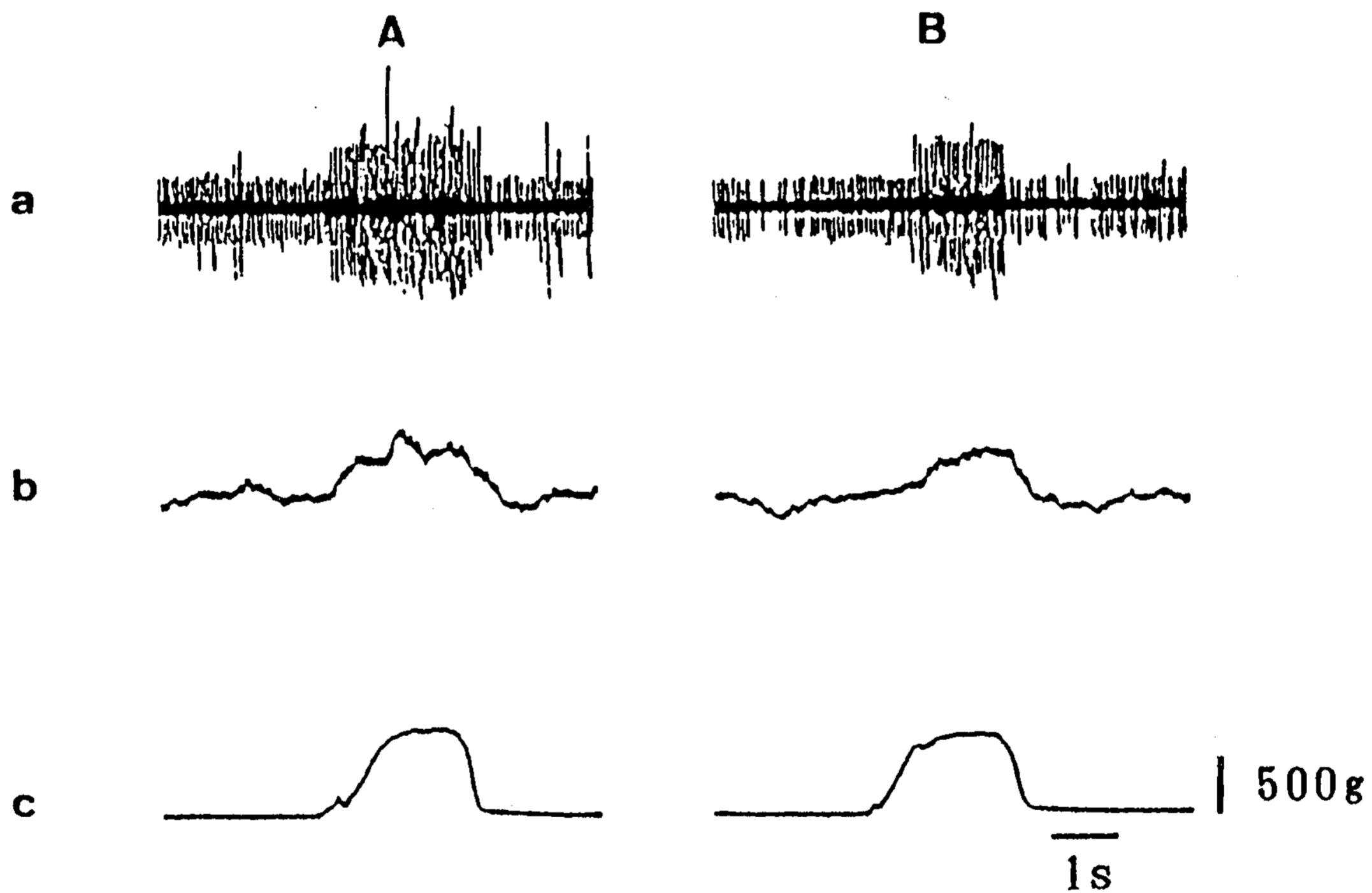


図6 人工歯根の機械的刺激による側頭筋興奮反射
 A: 近接歯 15、B: 人工歯根
 a: 側頭筋筋電図、b: 積分側頭筋筋電図、c: 刺激
 人工歯根および近接歯の機械的刺激により、側頭筋に興奮反射が現れた。

による緊張性歯根膜閉口筋反射と類似していた。

図4 から図6 は人工歯根および近接歯から閉口筋への興奮性の反射性筋活動を示す。

図4 は咬筋に針電極、側頭筋に表面電極を使用して人工歯根および近接歯からの反射を記録したものである。咬筋では人工歯根および近接歯で刺激の開始とともに小さい unit が発火し、その頻

度が増加した。それに続き大きな unit が発火し持続する興奮性の反射性筋活動が観察された。刺激後まず大きい unit が発火を停止し、続き小さい unit が発火を停止した (図4 Aa, 4 Ba)。

側頭筋では人工歯根および近接歯で機械的刺激により興奮性の反射性筋活動が出現し、その反射性筋活動は刺激中持続した (図4 Ab, 4 Bb)。

この例での反射効果は咬筋で人工歯根と近接歯においてほとんど差がみられなかったが、側頭筋への反射効果は人工歯根より近接歯の方が大きかった。一般的には人工歯根より近接歯の反射効果が大きい傾向にあった。このように人工歯根からの反射は針電極および表面電極で記録しても神経性の機構は変わらなかった。

刺激の duration の長さを変化させた時の人工歯根および近接歯からの反射を図5に示す。人工歯根および近接歯からの反射は、刺激の duration を約10秒の長さにしても刺激中持続的な反射性筋活動が生じた(図5 Aa, 5 Ba)。このように人工歯根からの反射効果の adaptation も長いことが観察された。

Background activity が低く、小さな unit が出現している時の人工歯根および近接歯からの反射を図6に示す。人工歯根および近接歯の刺激により大きい unit が動員し持続的な発火がみられ、刺激終了で消失した。小さい unit は刺激終了後も活動していた(図6 Aa, 6 Ba)。図4 a、図6 a

のように大小二種類の unit が反射性筋活動に出現している症例の場合、人工歯根および近接歯とも大きい unit の方が閾値が高く刺激により小さい unit が発火してから大きな unit が動員した。

2) Background activity と

人工歯根閉口筋反射の効果

刺激前の筋の活動状態を変化させると閉口筋に現れる反射効果は変化した(図7、8)。

被験者がバイトブロックを咬む強さを随意的に変えることにより刺激前の閉口筋の活動状態 Background activity を変化させた。

バイトブロックを咬む強さを咬合圧0、2、5、10kgの4段階とし、その時の人工歯根および近接歯からの反射効果の変化がみられた。なお図7、8は同一被験者、同一日より得られた結果である。

Background activity が0 kgの時に、人工歯根および近接歯から咬筋および側頭筋に興奮性の持続的な反射性筋活動が生じた(図7 A、8 A)。

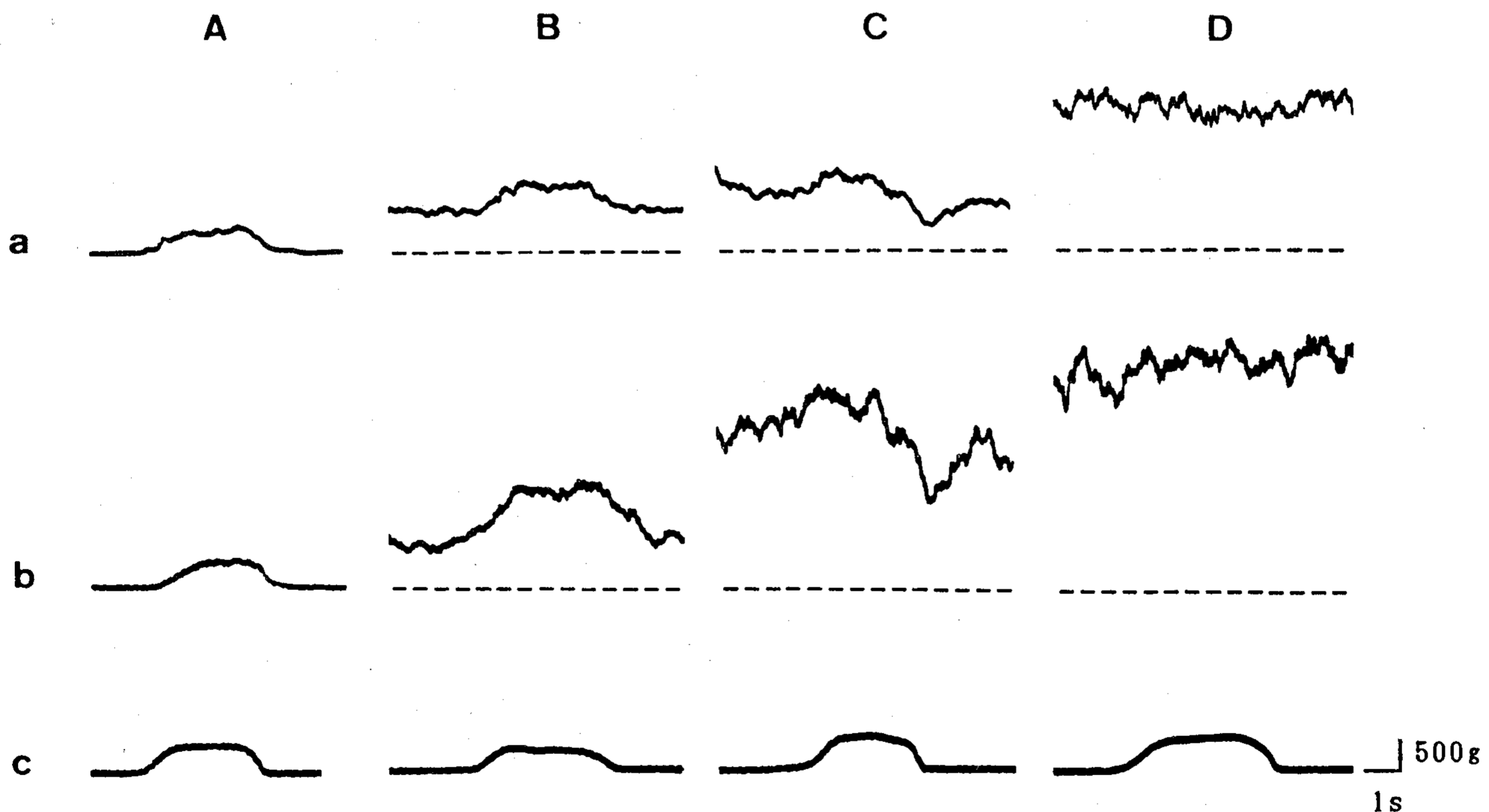


図7 Background activity と反射効果の関係(近接歯 Ⅳ)

A:咬合圧 0 kg、B:咬合圧 2 kg、C:咬合圧 5 kg、D:咬合圧 10kg

a:積分咬筋筋電図、b:積分側頭筋筋電図、c:刺激

随意運動により Background activity を大きくしていくと、近接歯から咬筋および側頭筋に生じる反射効果に変化した。

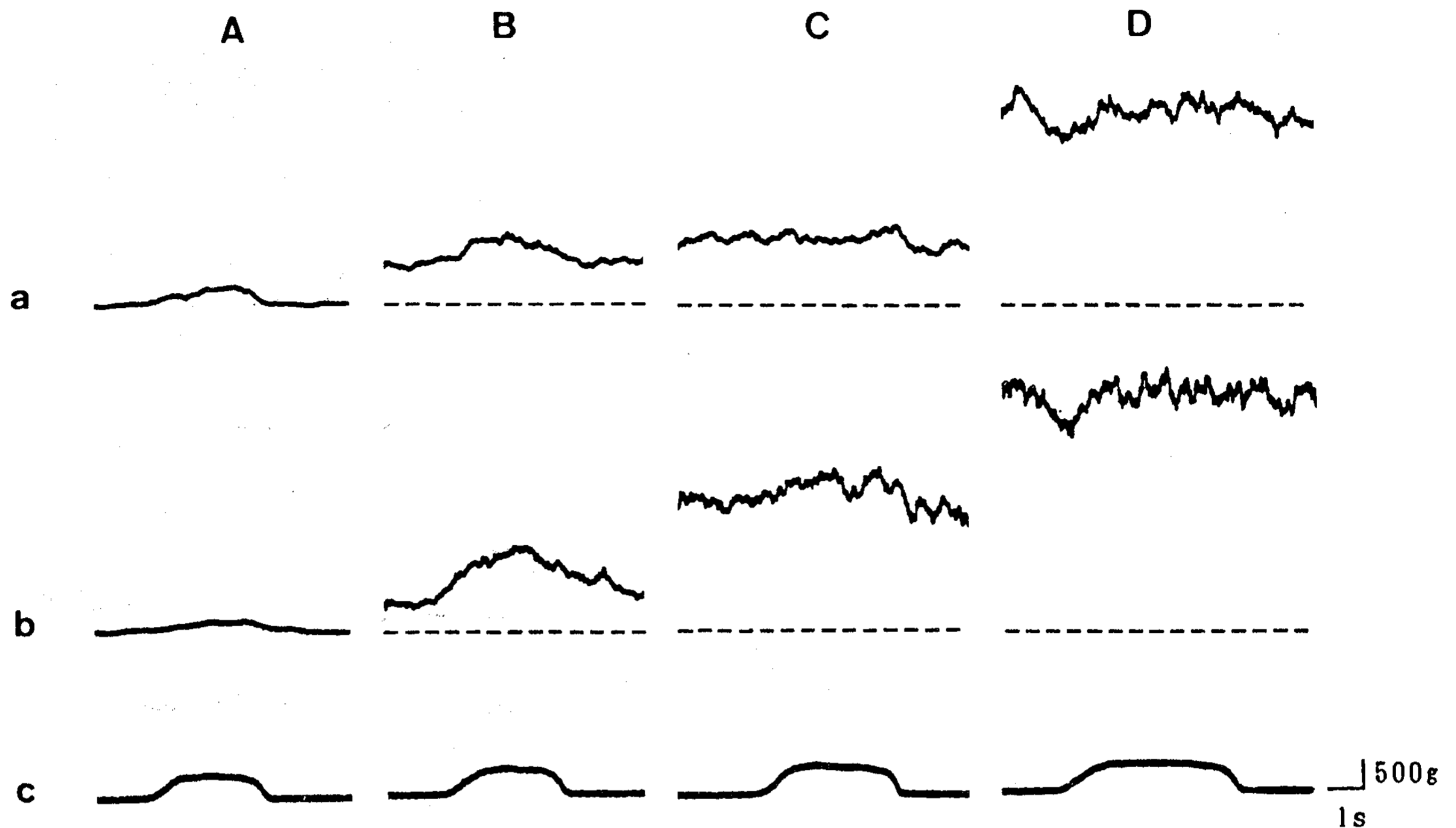


図8 Background activity と反射効果の関係(人工歯根)

A : 咬合圧 0 kg、B : 咬合圧 2 kg、C : 咬合圧 5 kg、D : 咬合圧 10kg

a : 積分咬筋筋電図、b : 積分側頭筋筋電図、c : 刺激

随意運動により Background activity を大きくしていくと、人工歯根から咬筋および側頭筋に生じる反射効果に変化した。

しかし、一般的には Background activity がない時は、人工歯根と比較すると近接歯の反射効果が大きい人工歯根と近接歯共に反射性筋活動の出現および効果の大きさにばらつきが多くみられた。

Background activity が低い時 (咬合圧約 2 kg) も人工歯根および近接歯から閉口筋へ持続的な興奮反射がみられ、この程度の Background activity において興奮性の反射効果が最も大きかった。反射効果は人工歯根に比較して近接歯が大きく、近接歯および人工歯根ともに咬筋より側頭筋が大きかった (図 7 B、8 B)。

Background activity が中等度の時 (咬合圧約 5 kg)、人工歯根および近接歯から閉口筋への興奮性の反射効果は Background activity が咬合圧 2 kg の時より減少した。反射効果は人工歯根に比較した近接歯が大きく、近接歯および人工歯根とも咬筋より側頭筋が大きかった (図 7 C、

8 C)。

Background activity が高い時 (咬合圧約 10 kg)、人工歯根および近接歯からの咬筋と側頭筋への興奮性の反射効果はほとんどみられなかった (図 7 D、8 D)。

このように人工歯根は近接歯と同様に Background activity により反射効果に変化し、閉口筋 Background activity が低い時より高まるにつれ興奮性の反射効果は減少した。

人工歯根および近接歯からの側頭筋反射性筋活動が unitary に記録された症例での反射効果と Background activity の関係を図 9 に示す。人工歯根も近接歯と同様に Background activity が低い時は興奮性の反射効果が大きく、Background activity が高まるにつれ興奮性の反射効果が減少した。Background activity が 0 の時、人工歯根の反射効果は 1~12、近接歯の反射効果は 9~13 で、近接歯の反射効果が大きい。又 Background

反射効果

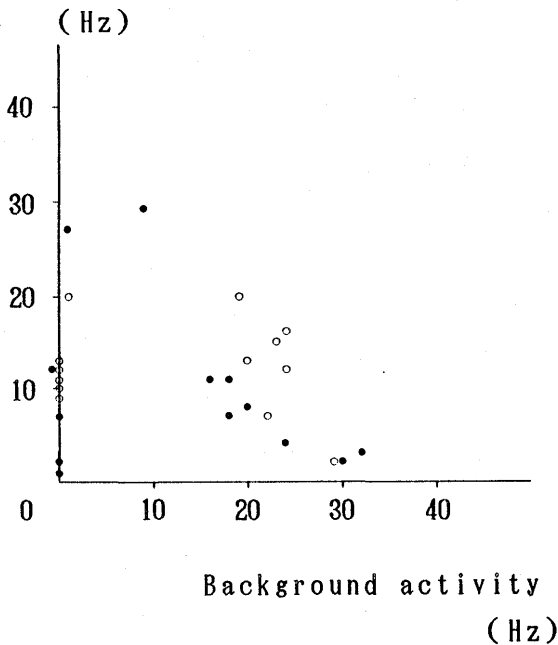


図9 Background activity と反射効果の関係
○：近接歯 ●：人工歯根
Background activity が変化すると、人工歯根および近接歯の側頭筋反射効果も変化した。

activity が18~30の間で近接歯の反射効果が20から2に減少し、人工歯根の反射効果は11から2に減少した。このように人工歯根および近接歯は Background activity のレベルにより反射効果に変化することが確認され、ほとんどの Background activity のレベルで近接歯の反射効果が大きかった。

3)抑制反射

被験者がバイトブロックを咬合圧約10kgで咬んでいる時の人工歯根および近接歯からの側頭筋抑制反射を図10に示す。この時人工歯根の荷重約700g持続時間約3秒の機械的刺激で人工歯根から側頭筋に抑制反射が出現した。

すなわちその反射性筋活動は刺激開始で一時的に若干増加するが、それ以降急激に減少し刺激終了まで持続的に抑制された(図10Bb)。これに比較してこの症例の近接歯刺激では人工歯根からの典型的な抑制とは異なるが、刺激の初期から反射

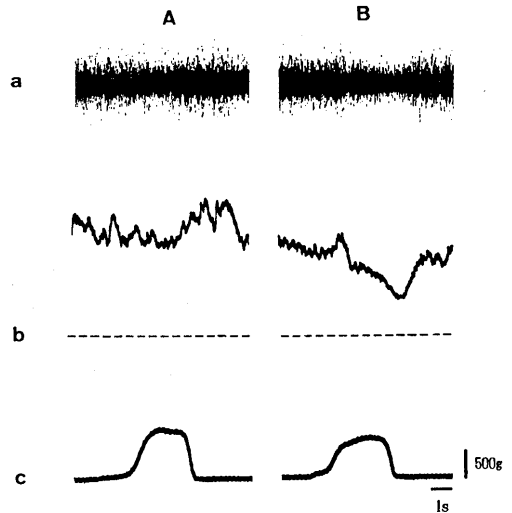


図10 人工歯根の機械的刺激による側頭筋抑制反射
A：近接歯 B：人工歯根
a：側頭筋筋電図、b：積分側頭筋筋電図
c：刺激
Background activity が高くなると、人工歯根および近接歯から側頭筋に持続的な抑制反射が生じた。

性筋活動がほぼ一定に抑えられる抑制反射が記録された(図10Ab)。

天然歯の臼歯刺激と同様に人工歯根からの抑制反射も咬筋より側頭筋にみられることが多かった。

考 察

1. 本研究の臨床的意義

人工歯根は第3の歯と言われ歯科臨床の場で応用されるようになってきた。しかし、多くの研究が報告されているとはいえ、臨床経験が先立ち基礎的研究が十分でないため人工歯根は試行錯誤的に応用されているのが現状である。

人工歯根は顎口腔系諸組織に調和し天然歯と同じような生理的機能を果たすことが理想と考える。この機能回復を達成する咬合再構築に直接かわり、人工歯根が長期間正常に機能するために重要な役割を果たすのが人工歯根の上部構造である。

人工歯根には、機能圧の抑制および緩圧機構など多くの生理学的存在意義を有する天然歯の歯根

膜に代わるものの存在が不明であるため、理想的な上部構造のあり方に関して、現在経験的な言及にとどまっている。すなわち理想的な上部構造のあり方を追求するためには、生理学的立場に立った検討が不可欠であると考えられる。

従来、人工歯根の生理学的研究は感覚⁷⁻¹³⁾および咀嚼能率、筋活動などの機能¹⁶⁻¹⁹⁾に関するものがほとんどでまた不十分なため、これらの研究から人工歯根の生理学的特性を把握することは未だ困難であり、特に理想的な上部構造を追求する上で人工歯根の咬合圧の制御に関係した研究が不可欠であると考えられる。

そこで本研究において、この理想的な人工歯根上部構造のあり方を検討する目的で、ヒトに植立した生体活性型人工歯根の圧感覚閾値を経時的に観察し、咬合機能との関連および周囲組織における神経性の関与について追求した。さらに機械的刺激による閉口筋反射の有無について近接天然歯の機械的刺激により惹起する緊張性歯根膜閉口筋反射と対比して検討を行った。

2. 圧感覚閾値の経過

本実験で人工歯根植立後からの圧感覚閾値の経過を観察した。人工歯根植立後1日でも82.5~199.0gと圧感覚閾値は高いが測定は可能であった(図2)。

Scadding²⁰⁾は電気生理学的技法を用いマウス座骨神経切断により生じた neuroma で神経切断後1日で機械的刺激により活動電位を記録した。この Scadding²⁰⁾の結果と考え合わせると人工歯根植立による神経線維切断1日後において人工歯根への機械的刺激により神経線維が反応し、圧感覚が生じたと考えられる。

また圧感覚閾値は術後の経過と共に19.3~82.5gまで低下し植立後7~8週以降一定になった。

スミシコン[®]植立後経時的に組織の再生が進み植立後4~8週にかけて成熟骨による強固な固定が得られる¹⁾ため、植立後8週では既に顎骨と癒着していると考えられる。一方、一般的に抜歯創の神経線維の再生は40日を過ぎると周囲歯槽骨の神経線維束の分布と同様になる²¹⁾と言われている。人工歯根植立後の生体の反応は基本的にこの場合

と同様と考えられる²²⁾ので、ほぼ8週で人工歯根周囲組織の神経再支配が完了するものと考えられる。また電気生理学的にも Robinson²³⁾がネコの再植歯および自己移植歯の歯髓の再神経支配を電気刺激により惹起する開口反射を指標として実験を行い、歯髓の再神経支配を術後9週で確認したと報告している。以上から人工歯根が顎骨と癒着する時期、人工歯根周囲の神経再支配が完了する時期および人工歯根の圧感覚が安定する時期が約8週で、ほぼ一致していることになる。生体活性型人工歯根は植立後8週で、顎骨と癒着し周囲に神経が再生され圧感覚も一定しているため、この頃から人工歯根に機能圧をかけられると考えられる。生体活性型結晶化ガラスは病理組織学的に植立後2週で人工歯根表面がほぼ全体を形成された骨で覆われ³⁾、そして植立後7~8週ではスミシコン[®]と同様に骨癒着の安定した状態にあるため圧感覚閾値は安定期に入っているものと考えられる。

咬合が関与していない植立後17~33.5週の一時点の結晶化ガラス圧感覚閾値は近接天然歯の約9倍であった。

本研究と同じ von Frey 型刺激子を使用し人工歯根の圧感覚閾値を測定した山根ら⁹⁾や山内ら¹¹⁾の報告をみても、いずれも人工歯根の圧感覚閾値は天然歯の閾値より高いことが確認された。

3. 咬合の影響

本実験で0.5~17週間咬合の影響を受けた結晶化ガラス人工歯根の圧感覚閾値は、咬合の関与する前より低下する傾向にあった(表3、4)。

Mühlbradtら⁸⁾は生体不活性のアルミナ Tübingen 人工歯根(植立後3~6ヵ月は機能圧をかけない)の圧感覚閾値が植立12ヵ月後までは天然歯の10~20倍であるが、経時的に低下し3~4年後には天然歯と同程度になると報告している。

組織学的には宅間⁵⁾がイヌとサルに人工歯根を植立し3ヵ月間機能圧をかけ、アルミナ人工歯根および生体活性型のハイドロキシアパタイトは非機能側と比較する機能側の周囲骨の骨梁形成が活発になったと報告している。

小野²⁴⁾は歯および歯肉への機械的刺激が歯肉血流に及ぼす影響をレーザードプラー血流計を使用

して観察し、咀嚼などの口腔機能時に歯や歯肉に加わる日常的な機械的刺激により、歯肉の血流が増加することを明らかにした。

これらから人工歯根は、咬合などの機能圧を受けることにより骨梁形成の活発化および人工歯根周囲歯肉の血流の増加による代謝活動の活性化から、人工歯根周囲組織の賦活が起これり圧感覚が変化したものと考えられる。

4. 麻酔の影響

本実験の結晶化ガラスでは、人工歯根の頸部麻酔により全ての人工歯根の圧感覚閾値は麻酔前の値より上昇した。続く根端相当部への浸潤麻酔により、さらに圧感覚閾値は上昇した(表5)。

人工歯根周囲の神経性の関与について山内ら¹¹⁾は、バイオセラムの頸部歯肉麻酔で圧感覚閾値に変化はなく植立顎骨部麻酔で閾値の上昇を認めたことから、バイオセラムの圧感覚は骨膜および周囲組織内の機械的受容器が関与している可能性があることを報告している。

また吉田¹²⁾は Osseointegrated implant の周囲軟組織部に浸潤麻酔を施し圧感覚閾値を測定しほとんど変化が認められず、人工歯根周囲粘膜および骨膜は圧感覚にあまり関与していないと報告している。

このように人工歯根周囲組織における神経性の関与について、山内ら¹¹⁾は骨膜との関係を肯定し吉田¹²⁾は否定するなど、使用した人工歯根の材料の差異もあるが様々な意見がある。

本実験の結果から結晶化ガラスは人工歯根頸部および顎骨埋込部周囲の両者に神経性の関与が考えられた。特に顎骨埋込部については結晶化ガラスは、人工歯根表面の一部骨形成のみられない島状の領域⁴⁾に神経の存在が推測され、その部分に神経性の関与が考えられる。

5. 人工歯根からの反射制御

歯の機械的刺激により閉口筋に興奮反射が生じることが Goldberg を初めいくつかの報告²⁵⁻³³⁾がある。その内、Funakoshiら²⁶⁾はラットの上顎切歯に持続的な機械的刺激を与え、刺激中持続する興奮反射を咬筋から記録し、Tonic periodontal jaw muscle reflex と呼んだ。

また、Background activity により反射効果に変化することが田口ら³¹⁾により明らかになった。田口ら³¹⁾はラットの上顎切歯刺激で咬筋 Background activity の弱い時には興奮反射が起これり易く、Background activity の強い時には持続性の抑制反射に変わることを報告している。

ヒトにおいては、稲井ら³²⁾が Background activity と反射効果の関係でラットの場合と同様なことを明らかにした。その中で臼歯刺激では、反射効果が側頭筋により大きかったと報告している。

この緊張性歯根膜閉口筋反射の機能的意義は、反射性に咬合力を調節する働き³⁴⁾が考えられている。人工歯根からの神経生理的な研究には、次のようなものがある。Haraldson ら¹⁷⁾は Osseointegrated implant 法を上下顎に応用した上部構造装着者のタッピングにより silent period が生じると報告している。また、近藤¹³⁾は生体不活性のバイオセラム人工歯根をイヌの下顎切歯部に植立し、人工歯根の機械的刺激による速順応型および中間型の求心性神経線維の興奮を記録した。

本研究において Background activity が低い時、人工歯根から持続的な興奮性の反射性筋活動が閉口筋に確認された。そして Background activity が高くなるにつれて、人工歯根からの反射効果は減少した。さらに Background activity が高くなると、人工歯根から閉口筋に抑制反射が生じた。咬筋と側頭筋を比較すると側頭筋への反射効果が大きかった。このようなことはヒトの臼歯から稲井ら³²⁾が認めたことと同様であった。このように正常歯からの反射と同じ様な反射が人工歯根に認められた。この反射を人工歯根閉口筋反射(Dental implant jaw closing muscle reflex)と呼ぶこととする。

人工歯根からの抑制反射も Background activity が多い時は図10のように認められた。しかし、図9中に示す例では抑制反射は記録されていないが、Background activity の上昇と共に興奮反射は減少していた。もし、Background activity が十分大きくできれば、抑制反射に移行するものと思われる。図10のような抑制反射が人工歯根自体にとっ

て過荷重に対する防御の点で有利に働く可能性が考えられる。

実際の咀嚼における食塊の粉碎過程において、人工歯根に弱い力がかかると閉口筋に興奮性の反射性筋活動が生じ、さらに噛みこむ。そして人工歯根に強い力がかかると閉口筋の興奮性反射効果は弱められ咬合圧も弱くなる。さらに人工歯根に強い力がかかると閉口筋に抑制反射が生じるという生体にとって合目的な機構が人工歯根からも働くと考えられる。つまり人工歯根からも閉口筋に神経性の抑制機構が働き、咬合圧が制御され得ると考えられる。

本実験において、人工歯根は下顎に植立されている。人工歯根を軸方向に刺激すると開口方向に力が働く。それにより顎位の変化や閉口筋の伸張などが本実験の結果に影響する疑問があるかも知れない。しかし、次の二点でその影響を否定できよう。第一に、被験者にバイトブロックを咬ませ閉口筋を等尺性収縮させ顎位を一定にしている。第二に、Tonic periodontal jaw closing muscle reflex はラット及びヒトの上顎歯からも惹起される反射であり、人工歯根からの反射はその特徴においてこれらと同様であったと言える。以上のことにより、この反射は人工歯根からの求心情報による反射であると考えて良からう。

また、本実験で人工歯根の反射効果の adaptation が長いことから、この反射には遅順応型の求心情報がかかわっていると考えられる。

6. 上部構造について

従来、人工歯根の上部構造は近接歯との連結や単独植立および緩圧機構などの機能圧制御の問題が主に考えられてきた。人工歯根の生理学的研究は少なく、特に咬合圧の制御にかかわる神経性の問題に関しては、研究がほとんどなされなかった。人工歯根上部構造の製作に際して、人工歯根から神経性の制御が働かないものと考えて、補綴処置が行われてきた。しかし、人工歯根の神経性の制御の有無についての実験的根拠は乏しかった。

本実験で人工歯根からの興奮および抑制反射が存在し、Background activity により反射効果に変化することが証明され、人工歯根から神経性の

制御が働くことがわかった。これは、人工歯根自体の生理機能としての神経性の機構が存在し、人工歯根が生体の顎口腔系に調和できる可能性を示すものである。つまり人工歯根の単独植立の可能性が示唆された。

しかし、近接正常歯と比較すると人工歯根からの反射効果は少なく、個人差がある。上部構造の補綴処置を考えると、人工歯根からの反射の存在を確認し、近接歯と反射効果を比較して慎重に処置方法を決定することが望ましいと考えられる。

結 論

理想的な人工歯根上部構造のあり方を究明する目的で、ヒトに植立されたMgO-CaO-SiO₂-P₂O₅系結晶化ガラス (HOYA社製) およびハイドロキシアパタイト溶射チタン (スミシコン®: 住友化学工業社製) の生体活性型人工歯根の機械的刺激による閉口筋反射の有無について近接天然歯の機械的刺激により惹起する緊張性歯根膜閉口筋反射と対比して検討を行い、また圧感覚閾値および動揺度を測定した結果、以下の知見を得た。

1. 生体活性型人工歯根において圧感覚は存在した。しかし、その圧感覚閾値は近接天然歯の閾値より高かった。
2. 人工歯根の圧感覚閾値は植立後1日で測定され、術後の経過とともに低下し、7~8週以降からはほぼ一定になった。
3. 咬合機能を営んだ人工歯根の圧感覚閾値は、咬合が関与する前より低下する傾向を示した。
4. 人工歯根周囲の頸部歯肉麻酔で圧感覚閾値は上昇し、それに続く人工歯根根端相当部の麻酔により閾値はさらに上昇した。
5. 人工歯根の機械的刺激により天然歯の緊張性歯根膜閉口筋反射に似た持続的な反射性筋活動が閉口筋に生じた。
6. その反射性筋活動は刺激前の閉口筋の興奮状態 (Background activity) により変化し、人工歯根からも神経性の制御機構が働くことが明らかになった。

これらにより、人工歯根の上部構造のあり方を考える上で重大な示唆を与えるものとする。

謝 辞

稿を終えるに臨み、本研究を進めるにあたり、ご助言を賜った口腔生理学教室山村千絵助手ならびに終始ご懇篤なるご指導、ご援助を賜った高橋義弘氏をはじめとする口腔生理学教室の皆様、および歯科補綴学第二教室の皆様、お厚く謝意を表します。

なお本論文の要旨は新潟歯学会平成2年度第2回例会(1990年11月17日、新潟)において発表した。

文 献

- 1) Morimoto, K., Kihara, A., Takeshita, F., Suetsugu, T., Tanaka, J. and Tsunosue, U.: An experimental study on the tissue compatibility of the titanium blade-vent implant coated with HAP-alumina in the semi-functional state. *J. Oral Imp.*, **13** (3): 387-401, 1987.
- 2) 青 久昭: ヒドロキシアパタイトおよびアルミナ溶射インプラント周囲組織についての組織学的観察. *松本歯学*, **14**: 19-40, 1998.
- 3) 南部理恵: 人工歯根用結晶化ガラスに関する研究—動物実験における病理組織学的反応について—. *補綴誌*, **33**: 543-557, 1989.
- 4) 山田浩之, 草刈玄, 吉田重光: 骨内インプラント体界面における骨形成と微細血管構築の変化—生体活性材料と生体不活性材料の比較—. *補綴誌*, **35**: 351-365, 1991.
- 5) 宅間雅彦: インプラント周囲組織の機能的適応に関する力学的および組織学的研究. *インプラント誌*, **1**: 1-32, 1986.
- 6) 井上直彦, 伊藤学而, 亀谷哲也: 生体活性ガラスを用いた人工歯根の開発. *日矯歯誌*, **40**: 291-299, 1981.
- 7) Mühlbradt, von L.: Neurophysiologische Methoden und Untersuchungen zu Rezeptorfunktion an Implantaten. *Dtsch, zahnärztl, Z*, **33**: 363-364, 1978.
- 8) Mühlbradt, L., Meyle, J. Lukas, D. und Schulte, W.: Die Tastsensibilität Tübinger Sofortimplantate. *Dtsch, zahnärztl, Z.*, **35**: 334-338, 1980.
- 9) 山根進, 中川茂吉, 下御領良二: インプラント支台に対する圧刺激閾. *歯界展望*, **66**: 1149-1152, 1985.
- 10) 山根進, 中川茂吉, 下御領良二, 津田隆志: 下顎骨膜下インプラントに対する圧刺激閾. *インプラント誌*, **7**: 14-18, 1986.
- 11) 山内六男, 天野仁一郎, 川野襄二: インプラント義歯装着者の口腔感覚に関する研究 第1報 骨内インプラントの圧感覚閾値について. *補綴誌*, **32**: 218-225, 1988.
- 12) 吉田浩一: Osseointegrated implant 周囲組織の圧感覚閾値に関する研究. *歯科学報*, **88**: 1603-1642, 1988.
- 13) 近藤倫明: Implant植立による機械的刺激受容線維の可塑性. *広大歯誌*, **20**: 1-18, 1988.
- 14) Manly, R. S., Pfaffman, C., Lathrop, D. D. and Keyser, J.: Oral sensory thresholds of persons with natural and artificial dentitions. *J. Dent. Res.*, **31**: 305-313, 1952.
- 15) 河野正司, 佐藤尚弘, 田端恒雄: 「ペリオテスト」新しい動的歯周組織診断装置とその応用. *Quintessence*, **6**: 187-195, 1987.
- 16) Haraldson, T. and Carlsson, G.: Chewing efficiency in patients with osseointegrated oral implant bridges. *Swed. Dent. J.*, **3**: 183-191, 1979.
- 17) Haraldson, T. and Ingervall, B.: Silent period and jaw jerk reflex in patients with osseointegrated oral implant bridges. *Scand. J. dent. Res.*, **87**: 365-372, 1979.
- 18) Haraldson, T. and Ingervall, B.: Muscle function during chewing and swallowing in patients with osseointegrated oral implant bridges.: An electromyographic study. *Acta Odontol Scand.*, **37**: 207-216, 1979.

- 19) Haraldson, T. and Carlsson, G. E. and Ingervall, B.: Functional state, bite force and postural muscle activity in patients with osseointegrated oral implant bridges. *Acta Odontol. Scand.*, **37**: 195-206, 1979.
- 20) Scadding, J. W.: Development of ongoing activity, mechanosensitivity, and adrenaline sensitivity in severed peripheral nerve axons. *Expt. Neurol.*, **73**: 345-364, 1981.
- 21) 亀山嘉光: 抜歯創の治癒に伴う神経分布の消長に関する実験的研究. *九州歯会誌*, **23**: 370-391, 1969.
- 22) 井上 孝: インプラント, 移植材と歯周組織. 治癒の病理-ペリオ・エンドの臨床のために-下野正基, 飯島国好 (編), 105-120頁, 医歯薬出版, 東京, 1988.
- 23) Robinson, P. P.: An electrophysiological study of the reinnervation of reimplanted and autotransplanted teeth in the cat. *Arch. Oral Biol.*, **28**: 1139-1147, 1983.
- 24) 小野和宏: ヒト歯および歯肉への機械的刺激による歯肉の反射性血流増加について. *口科誌*, **39** (2): 389-404, 1990.
- 25) Goldberg, L. J.: Masseter muscle excitation induced by stimulation of periodontal and gingival receptors in man. *Brain Res.*, **32**: 369-381, 1971.
- 26) Funakoshi, M. and Amano, N.: Periodontal jaw muscle reflexes in the albino rat. *J. Dent. Res.*, **53**: 598-605, 1974.
- 27) Amano, N. and Funakoshi, M.: Tonic periodontal-masseteric reflex in man. *Gifu Dent. Soc.*, **3**: 182-183, 1976.
- 28) 浜口五也: 緊張性歯根膜咬筋反射の筋電図学的研究. *歯基礎誌*, **20**: 134-143, 1978.
- 29) 井手龍平: ラット歯根膜刺激による咬筋反射パターンの分析. *岐歯学誌*, **8**: 93-107, 1980.
- 30) 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. *歯基礎誌*, **26**: 1228-1244, 1984.
- 31) 田口 洋 高橋義弘, 佐藤清作, 島田久八郎: ラット上顎切歯圧刺激による歯根膜顎反射. *歯基礎誌*, **28**: 253-269, 1986.
- 32) 稲井千絵, 小杉誠司, 小野和宏, 島田久八郎: ヒトの切歯及び臼歯の圧刺激による閉口筋反射. *歯基礎誌*, **30** (補冊): 96, 1988.
- 33) Inai, C., Kosugi, S., Shimada, K., et al.: Incisor and molar control mechanism of jaw movement in the medium background activity. *Jpn. J. Physiol. Soc.*, **50**: 451, 1989.
- 34) 中村嘉男: 咀嚼運動のしくみ. 「咀嚼の話」. 東京医科歯科大学歯学部口腔総合研究施設 (編), 259-300頁, 日本歯科評論社, 東京, 1987.