原著論文

実験的咬合干渉が顎口腔系に及ぼす影響について

—特に脳波について—

関 雅寛

Influences of Experimental Occlusal Interference on Stomatognathic System —Especially Concerns with EEG Findings—

Masahiro Seki

Abstract : To investigate the influence of occlusal interference on the central nervous system, power spectral analysis of electroencephalographic patterns was carried out under various occlusal conditions in 10 subjects with individual normal occlusion to whom vertical occlusal interference was experimentally applied to the lower first molars. From the cycle frequencies and power levels, the following results were obtained by analysis of variance.

1. Significant differences were demonstrated between the EEG cycle frequency during normal occlusion and that during interference of 50 μm , and between the EEG cycle frequency during normal occlusion and that during interference of 100 μm . However, when EEGs during interference of 50 and 100 μm were compared, no significant difference was found in cycle frequencies.

2. When EEGs during occlusal interference on the left and right sides were compared, significant differences were found in EEG cycle frequencies and power levels between them.

3. At the occipital region, the EEG pattern showed no significant differences in cycle frequencies and power levels between the left and right under all experimental conditions.

4. Transition from α -wave dominance which appeared with mandible at a resting position, to β -wave dominance was most distinctly demonstrated by clenching.

Key words : occlusal interference, central nervous system, power spectral analysis, EEG

I. 緒 言

咬合干渉が存在すると顎口腔系に影響を及ぼすこと

は一般的に知られている¹⁻¹⁰⁾。

そのメカニズムとして通常、咬合干渉があると歯根膜に存在する侵害受容器および機械受容器がともにストレスを感じとり、その情報を一次求心神経の経路を通して二次ニューロンに投射する。その情報は中枢で処理されて遠心性インパルスに置換され、局所の効果器である顎口腔系の筋や腱などの活動を反射的にコントロールすると考えられている¹¹⁾。

明海大学歯学部歯科補綴学第一講座（指導：柳生嘉博教授）
Meikai University School of Dentistry 1st Department of
Prosthetic Dentistry (Director : Prof. Yoshihiro Yagiū)
平成4年3月9日受付

過去に行われた研究により、顎口腔系に特記すべき異常の認められない者に実験的咬合干渉を与えた場合、これが顎口腔系にどのような影響を及ぼしているのかがしだいに明らかにされてきた。

1970年代佐藤¹⁾、高橋²⁾、高橋³⁾、小川⁴⁾、田中⁵⁾、羽田⁶⁾、関根⁹⁾らは、実験的咬合干渉を与えた場合の主に咀嚼筋筋電図の変化について報告している。1985年伊藤と小林⁹⁾は、下顎の犬歯および第1大臼歯に厚さ100 μm の水平的な実験的咬合干渉を付与し、下顎運動、EMGならびに咬合音の三者の同時記録による咬合診断に関して報告している。1978年垂水⁸⁾、1982年林¹⁰⁾は実験的咬合干渉が顎口腔系に及ぼす影響についてさらに多角的にとらえている。すなわち前者はEMG、EEG、EOG、ECG、嚥下運動、MKGに関して報告しており、後者は臨床症状、触診、中心位および中心咬合位の顎頭位、咬合接触点および面積、歯のtapping時の咬合音、歯のtapping時の筋活動、咀嚼時の筋活動、咀嚼時の顎運動、pantograph tracing、顎関節部側方位X線規格写真について報告している。しかしながら、これらの業績の大部分は効果器の反応についての報告であり、中枢の反応については脳波を睡眠深度の判定基準として使用している報告もあるが、脳波の分析は行われていない。

一方、1981年谷¹²⁾は無歯顎患者の下顎安静位導入前後の脳波を計測しており、下顎位とそれに対する中枢の反応について報告している。

1972年横田¹³⁾は、歯からの感覚神経繊維を含む下歯槽神経の大脳皮質投射野の局在を明らかにするため、Chloraloseで麻酔したネコの下歯槽神経を電気刺激した場合の大脳皮質表面の誘発電位の分布について報告している。

そこで著者は、歯に与えられた刺激により引き起こされる中枢、主に大脳皮質の反応に着目し、正常有歯顎者に咬合干渉を与えた場合の脳波を分析したところ、正常時と咬合干渉時の脳波間に有意差を認めたので報告する。

II. 実験方法

1. 被験者

被験者として本学歯学部学生および職員の中から、顎口腔系に特記すべき異常の認められない個性正常咬合を有する20～29歳の女子5名、男子5名の合計10名を選択した。

表 1 被験者

被験者	性別	年齢	被験歯
1	女	24	[6]
2	女	29	[6]
3	男	23	[6]
4	男	25	[6]
5	男	24	[6]
6	女	23	[6]
7	男	24	[6]
8	女	20	[6]
9	女	22	[6]
10	男	23	[6]

被験歯は下顎第1大臼歯に設定し、被験者10名のうち5名は左側（以下、左側群と呼称する）、他の5名は右側（以下、右側群と呼称する）とした。なお、すべての被験歯は無髓歯であり歯内療法処置が施されていた（表1）。

2. 実験的咬合干渉装置

実験的咬合干渉装置（以下、干渉装置と略称する）として咬合面の平坦なフルキャストクラウンを用い、正常な咬合接触よりも垂直的に50 μm と100 μm 過高の2種類とした。

干渉装置の製作はジェレンコ社製パーティキュレーターを使用し、上顎部と下顎部の接合面にコンタクトゲージを介在させて所定の干渉量を与え、歯科用金銀パラジウム合金にて通法に従い鑄造した。干渉量の調整は被験歯の近心隣接歯咬合面間に、あらかじめ10 μm 単位のダイヤルゲージにより計測済みのシームストックを入れ、被験者に軽く咬合するように指示し、ひきぬき試験を繰り返し所定の干渉量になるよう各種研磨器具を用いて調整を行った。この際、干渉装置と対合歯との咬合関係は、対合歯の機能咬頭が干渉装置の平坦な咬合面に一点で接触するようにした。同時に、正常な咬合接触をするフルキャストクラウンを製作しこれをコントロールとした。なお、干渉装置の調整日と脳波計測日は少なくとも1日以上期間をおき、その期間はコントロールとしてのフルキャストクラウンを装着した。

3. 脳波の導出

1) 導出部位および導出方法

脳波電極の配置は、国際連合の10-20電極法¹⁴⁾に準じて左右側とも前頭極部（Fp: frontal pole）、前

1 ch : F _{p1} -A ₁	5 ch : F _{p2} -A ₂
2 ch : F ₃ -A ₁	6 ch : F ₄ -A ₂
3 ch : P ₃ -A ₁	7 ch : P ₄ -A ₂
4 ch : O ₁ -A ₁	8 ch : O ₂ -A ₂

図 1 脳波電極配置図

頭部 (F: frontal), 頭頂部 (P: parietal), 後頭部 (O: occipital) および耳朵 (A: auricular) を選択した (図 1)。

電極は直径 10 mm の円盤型電極を用い、アルコールで頭皮を十分脱脂後、脳波用電極糊を介して頭皮上に付着させた。

導出法は耳朵を基準電極として、頭皮上の探查電極との電位変化の差を記録する単極導出法¹⁵⁾とした。

チャンネルの設定は図 1 に示すように、前頭極部から後頭部に向かい、1 ch から 4 ch までを左側、5 ch から 8 ch までを右側とした。

2) 計測機器

脳波計は Bioelectric amplifier (日本光電社製, EEG-6113) を使用した。得られた脳波を記録紙上に記録し、同時に PCM Visual data recorder (TEAC 社製, PU-400) にオンラインで入力し、PCM 方式によりデータをいったんデジタル信号に変換して記録した。記録に際しては、ビデオレコーダー (松下電器産業社製, AG-6300 HQ) を使用した。

3) 被験項目

記録は以下の項目について行った。

(1) 下顎安静位

(2) 下顎運動

a. 開閉運動

b. タッピング

c. クレンチング

被験者は椅子に座らせ、フランクフルト平面が床と平行になるようヘッドレストを調整し閉眼させた (図 2)。

図 2 脳波計測環境

図 3 脳波原波形

記録時間は下顎安静位の状態を 60 秒間、各下顎運動の状態を 30 秒間とし、各項目間でのインターバルを 20 秒間とした。開閉運動は 1 秒間に 1 回程度とし、開口量は上下顎中切歯間で 1 cm 程度とした。タッピングは 1 秒間に 3 回程度とした。クレンチングは上下顎歯列を接触させた状態で、咬みしめ・安静を約 1 秒間ずつ交互に繰り返した。

以上の項目をコントロールと、50 μ m および 100 μ m の干渉装置装着時 (以下、干渉時と略称する) の合計 3 回行わせそれぞれの脳波を記録した。この際、時定数は 0.3 秒、high cut filter は 25 Hz、較正值は 50 μ V に対して 7 mm、ペーパースピードは 3 cm/sec と設定した。なお、干渉時のデータは干渉装置装着直後のものである。また、計測前に被験者に干渉装置を装着していない状態でこれらの項目を練習させ、記録時には指示のみとした。

記録したデータの一部を図 3 に示す。

4) 計測環境

脳波の導出にあたっては、大きさが幅 4.5 m、奥行 3.0 m、高さ 2.6 m のシールドルームを使用した。室内はエアコンディショナーにより発汗などが生じない

ように、室内気温が24℃前後に調整されており、専用アースおよび電源フィルターが設置されている。

4. 分 析

分析は得られたデータのうち下顎安静位については安定した10秒間、各下顎運動については中間の10秒間の脳波について周波数スペクトル分析を行った。なお、同一条件下における各被験者の分析はそれぞれ1回行った。

分析に際しては、多目的ダイナミック・データ処理&解析システム（KSD社製、スパイラス）を搭載したパーソナルコンピュータ（日本電気社製、PC-9801 VM2）を使用し、波形解析プログラムをサンプリング周波数1kHzに設定した。

以上の条件により得られた分析図を図4に示す。分析図の横軸は周波数、縦軸はパワーを示す。分析図の

図4 周波数スペクトル分析図

最大ピークの頂点の周波数値とパワー値をコンピュータにより読み取り記録した。この操作を各被験者の各条件について行いデータを収集した。

下顎安静位については、被験者10名の最大ピークの周波数値とパワー値の平均値を求めた。

下顎運動については、被験者10名を左側群と右側群に分類し、それぞれの群について開閉運動、タッピング、クレンチングのコントロールおよび干渉時の最大ピークの周波数値とパワー値の平均値を求めた。

また干渉部位、導出部位、干渉量および下顎運動の4項目について四元配置分散分析¹⁶⁾を行った。

III. 実験結果

1. 下顎安静位

1) 周波数

下顎安静位における最大ピークの周波数平均値を表2に示す。

周波数は、左側前頭部において9.35 Hzと最小値を示し、右側後頭部において12.23 Hzと最大値を示した。

2) パワー

下顎安静位における最大ピークのパワー平均値を表3に示す。

パワーは、左側頭頂部において $2.20 \mu V^2/s$ と最小値を示し、右側後頭部において $3.57 \mu V^2/s$ と最大値を示した。また、左脳に比べて右脳のパワー値が全体的に高い値を示した。

表2 下顎安静位における最大ピークの周波数平均値

	導出部位							
	左 脳				右 脳			
	1	2	3	4	5	6	7	8 (ch)
周波数平均値	11.07 (3.03)	9.35 (2.22)	10.20 (2.46)	11.02 (0.97)	10.27 (2.86)	10.56 (2.53)	10.20 (2.33)	12.23 (5.46)

N=10 Unit: HZ () : S.D.

表3 下顎安静位における最大ピークのパワー平均値

	導出部位							
	左 脳				右 脳			
	1	2	3	4	5	6	7	8 (ch)
パワー平均値	2.44 (1.20)	2.42 (1.24)	2.20 (0.66)	2.23 (0.76)	2.43 (1.05)	3.10 (1.58)	3.30 (2.65)	3.57 (1.52)

N=10 Unit: $\mu V^2/s$ () : S.D.

表 4 各下顎運動における最大ピークの周波数平均値

下顎運動 被験者群 干渉量 (μm)			導 出 部 位							
			左 脳				右 脳			
			1	2	3	4	5	6	7	8 (ch)
開閉運動	0	10.88(3.63)	12.44(6.73)	13.24(7.40)	9.60(2.83)	10.42(2.59)	12.96(7.45)	10.92(6.78)	13.26(3.94)	
	左側群 50	15.36(3.76)	11.60(2.70)	13.16(3.27)	11.70(1.59)	13.48(7.26)	10.84(3.22)	13.20(3.30)	11.92(1.88)	
	100	10.86(2.50)	10.20(2.64)	10.76(2.72)	10.47(2.22)	11.60(1.73)	11.52(1.85)	12.44(1.97)	11.80(1.91)	
	0	10.34(0.87)	10.08(1.93)	9.74(2.77)	10.70(1.00)	11.64(5.11)	10.44(1.90)	10.88(2.01)	10.88(2.01)	
	右側群 50	14.00(4.15)	14.00(4.15)	14.54(4.06)	11.45(1.75)	13.28(4.40)	12.04(2.24)	12.46(2.33)	12.40(1.53)	
	100	14.04(6.40)	12.76(6.83)	12.76(6.66)	7.85(1.85)	11.56(6.96)	12.72(5.70)	12.42(6.70)	10.24(3.23)	
タッピング	0	10.70(2.64)	13.46(4.87)	10.48(1.64)	8.37(0.94)	10.08(2.36)	10.32(2.23)	11.06(2.48)	12.82(8.18)	
	左側群 50	13.24(4.25)	15.04(5.00)	16.58(6.98)	16.13(3.72)	12.46(2.95)	14.74(5.57)	10.90(1.55)	12.12(1.52)	
	100	10.88(3.48)	13.88(7.72)	13.58(7.82)	12.58(3.22)	13.98(8.20)	18.50(8.55)	15.54(6.89)	13.92(5.09)	
	0	10.16(2.96)	19.40(6.09)	19.32(8.95)	7.85(1.95)	11.22(2.82)	10.66(1.83)	15.92(6.19)	11.64(2.76)	
	右側群 50	11.26(2.23)	10.14(2.89)	15.66(6.50)	12.60(1.00)	9.46(2.85)	12.48(3.22)	12.84(3.19)	12.22(2.59)	
	100	12.08(4.38)	11.72(4.69)	10.44(3.14)	8.80(2.90)	11.66(6.43)	12.42(5.00)	10.90(3.62)	9.70(3.49)	
クレンチング	0	15.08(6.66)	15.58(5.83)	15.03(3.75)	9.60(3.80)	15.33(7.13)	16.98(5.51)	16.15(5.90)	15.05(6.02)	
	左側群 50	17.70(4.70)	16.80(4.51)	12.78(1.04)	13.30(1.20)	14.53(7.60)	11.45(2.91)	12.25(1.44)	13.07(0.97)	
	100	17.58(5.99)	15.80(4.50)	19.45(7.07)	15.20(4.00)	20.25(8.71)	20.88(8.31)	15.03(3.96)	13.35(1.41)	
	0	10.96(1.63)	11.26(3.56)	10.30(2.26)	10.70(1.00)	9.68(1.81)	9.34(1.97)	9.60(2.37)	13.58(5.12)	
	右側群 50	12.82(7.54)	11.96(5.00)	14.02(6.87)	19.45(7.75)	16.28(9.31)	13.06(8.51)	14.50(8.03)	15.16(5.38)	
	100	13.36(3.16)	12.90(3.12)	14.82(6.19)	11.25(0.55)	12.92(3.35)	14.40(6.44)	12.54(2.66)	13.28(5.61)	

N=5 Unit: HZ () : S.D.

2. 下顎運動

1) 周波数

各下顎運動における最大ピークの周波数平均値を表 4 に示す。

(1) 開閉運動

左側群では前頭極部, 前頭部, 頭頂部において, 下顎安静位に比べコントロール, 干渉時とも 5 Hz 程度の範囲で周波数の高域化が認められた。100 μm の干渉時にはすべての導出部位において右脳が左脳よりも高域を示した。

右側群では下顎安静位とコントロールの周波数に顕著な差は認められないが, これらに対して干渉時には後頭部以外の部位において 5 Hz 程度の範囲で周波数の高域化が認められた。各干渉量間においては, 100 μm の干渉時に比べ 50 μm の干渉時の方がすべての導出部位で高域を示した。

(2) タッピング

周波数は開閉運動時に比べると全体的に高域を示した。この傾向は左右側群とも前頭部で顕著に認められ, 最高値は右側群の同部で 19.40 Hz を示した。

左側群では下顎安静位とコントロールに顕著な差は認められないが, これに対し干渉時には最高 10 Hz

程度の範囲で周波数の高域化が認められた。50 μm の干渉時にはすべての導出部位において周波数は右脳よりも左脳が高域を示し, 100 μm の干渉時にはこれとは反対に右脳が左脳よりも高域を示した。

右側群では左側群のようなコントロールと干渉時との顕著な差は認められなかった。

左右側群間について比較すると, 全体的には左側群が右側群よりもやや高域を示した。

(3) クレンチング

周波数はタッピング時よりもさらに高域を示し, 左側群の前頭部において最高値の 20.88 Hz を示した。また, 13 Hz 以上である β 波領域の出現が多く認められた。

左側群では前頭極部, 前頭部, 頭頂部においてコントロール, 干渉時とも周波数の高域化が認められた。この傾向はすべての部位において 50 μm の干渉時よりも 100 μm の干渉時に強く認められた。また, 50 μm の左側干渉時には, すべての導出部位において右脳よりも左脳が高域を示した。

右側群では下顎安静位に対してコントロールに顕著な差は認められないが, 干渉時には周波数の高域化が認められた。

表 5 各下顎運動における最大ピークのパワー平均値

下顎運動	被験者群	干渉量 (μm)	導 出 部 位							
			左 脳				右 脳			
			1	2	3	4	5	6	7	8 (ch)
開閉運動	左側群	0	2.05(0.68)	1.86(0.55)	1.73(0.49)	1.88(0.80)	1.97(0.64)	2.72(1.00)	1.84(0.56)	2.80(0.82)
		50	1.78(0.72)	2.46(1.03)	2.30(0.81)	2.69(0.52)	3.19(1.47)	2.90(1.54)	2.36(1.08)	2.99(1.06)
		100	1.96(1.09)	2.11(0.98)	2.28(1.02)	2.08(1.56)	1.72(0.69)	2.18(0.79)	2.43(0.92)	3.88(1.56)
	右側群	0	3.65(1.68)	3.28(1.06)	3.28(1.05)	6.38(2.06)	3.23(1.44)	3.86(1.12)	2.97(0.86)	5.46(2.76)
		50	3.15(1.61)	3.28(1.85)	2.90(2.13)	5.67(2.33)	2.77(1.33)	3.28(1.78)	3.59(2.37)	5.32(3.31)
		100	2.79(1.51)	3.30(1.75)	3.30(1.50)	3.45(1.67)	2.44(1.66)	3.25(2.05)	2.67(1.35)	3.70(1.33)
タッピング	左側群	0	1.92(0.65)	2.07(0.62)	1.73(0.34)	2.13(0.55)	2.41(0.37)	2.48(0.60)	1.63(0.64)	2.62(0.94)
		50	2.59(0.93)	3.10(1.28)	2.89(1.61)	2.40(0.36)	2.11(0.83)	3.07(1.83)	2.82(1.89)	2.38(1.19)
		100	2.28(0.70)	2.11(1.05)	1.91(1.03)	2.43(0.44)	2.43(0.89)	2.72(1.46)	2.22(0.95)	3.64(1.02)
	右側群	0	2.35(0.81)	2.16(0.96)	2.11(0.78)	2.25(1.15)	2.36(0.86)	2.93(1.13)	2.08(1.03)	3.97(1.82)
		50	2.82(1.18)	3.40(0.81)	3.53(1.39)	7.39(3.16)	2.67(1.50)	3.46(1.29)	3.43(1.85)	6.33(3.69)
		100	3.32(1.27)	3.57(1.10)	3.61(0.91)	3.51(0.49)	5.69(5.91)	6.48(5.99)	6.18(5.25)	8.22(7.14)
クレンチング	左側群	0	2.47(1.05)	2.86(1.24)	3.08(1.13)	2.74(1.33)	2.70(1.07)	2.95(1.17)	2.47(1.03)	3.31(0.92)
		50	1.19(0.45)	1.38(0.47)	1.77(0.50)	2.73(1.55)	1.43(1.11)	1.99(0.71)	1.88(0.67)	2.58(1.01)
		100	2.78(0.76)	2.99(1.53)	2.63(0.34)	2.00(0.20)	2.70(0.76)	3.07(1.05)	2.72(0.40)	3.78(1.87)
	右側群	0	3.07(1.08)	3.75(0.86)	3.89(0.61)	4.28(0.37)	3.47(1.02)	4.06(1.24)	4.09(0.65)	5.39(1.40)
		50	2.88(1.44)	2.74(1.19)	3.15(1.04)	4.12(0.38)	2.89(1.52)	4.25(1.64)	3.54(1.74)	3.96(1.64)
		100	3.06(0.91)	3.16(0.68)	2.98(0.84)	4.70(2.61)	3.24(1.14)	3.43(1.19)	2.94(0.92)	4.92(1.99)

N=5 Unit: $\mu\text{V}^2/\text{S}$ (): S.D.

左右側群間について比較すると、全体的には左側群が右側群よりも高域を示した。

2) パワー

各下顎運動における最大ピークのパワー平均値を表5に示す。

(1) 開閉運動

左側群ではすべての部位においてコントロール、干渉時とも下顎安静位に比べ顕著な差は認められなかった。しかしながら、50 μm の干渉時には右脳が左脳に比べ高い値を示した。

右側群では後頭部において、コントロールと50 μm の干渉時が下顎安静位および100 μm の干渉時よりも高い値を示した。全体的には干渉時よりもコントロールの方が高い値を示した。

左右側群間について比較すると、下顎安静位に対して左側群は低い値を示し、右側群は高い値を示した。

(2) タッピング

左側群では、すべての部位においてコントロール、干渉時とも下顎安静位に比べ顕著な差は認められなかった。

右側群では下顎安静位に比べコントロールに顕著な差は認められないが、干渉時には高い値を示す傾向が

認められた。この傾向は50 μm の干渉時よりも100 μm の干渉時の方が大きく、特に100 μm の干渉時の右脳に認められた。

左右側群間について比較すると、全体的には右側群が左側群よりも高い値を示した。

(3) クレンチング

左側群では下顎安静位、コントロール、100 μm の干渉時に顕著な差は認められないが、これらよりも50 μm の干渉時は低い値を示した。

右側群ではすべての導出部位において、下顎安静位に対してコントロールに高い値を示す傾向が認められ、これらの範囲内に干渉時のパワーが存在した。

左右側群間について比較すると、全体的には右側群が左側群よりも高い値を示した。

3. 分散分析

実験により得られたデータの分散分析を行うにあたり、表6に示すように要因Aを干渉部位、要因Bを導出部位、要因Cを干渉量、要因Dを下顎運動と設定した。さらに各要因内における水準は表6に示す通りに設定した。

周波数平均値における各要因間での最大ピークの分

表 6 四元配置分散分析に用いた要因と水準

要 因	水 準
A：干渉部位	A1 左側
	A2 右側
B：導出部位	B1 1 ch
	B2 2 ch
	B3 3 ch
	B4 4 ch
	B5 5 ch
	B6 6 ch
	B7 7 ch
	B8 8 ch
C：干渉量 (μm)	C1 0
	C2 50
	C3 100
D：下顎運動	D1 開閉運動
	D2 タッピング
	D3 クレンチング

表 7 各要因間における最大ピークの分散分析結果 (周波数)

要因	自由度	変動	不偏分散	F 値
A	1.	47.0367	47.0367	15.3702**
B	7.	50.2148	7.17354	2.3441
C	2.	50.4938	25.2469	8.2500**
D	2.	128.315	64.1573	20.9647**
AB	7.	12.4153	1.77361	0.5796
AC	2.	22.7508	11.3754	3.7172*
BC	14.	105.386	7.52759	2.4598*
AD	2.	37.2268	18.6134	6.0823**
BD	14.	46.7895	3.34211	1.0921
CD	4.	29.6986	7.42465	2.4262
ABC	14.	46.5807	3.32719	1.0872
ABD	14.	62.0829	4.43449	1.4491
ACD	4.	110.713	27.6783	9.0445**
BCD	28.	95.0926	3.39161	1.1098
誤差	28.	85.687	3.06025	
合計	143.	930.484		

A：干渉部位 B：導出部位 C：干渉量 (μm)

D：下顎運動 *：P<0.05 **：P<0.01

散分析結果を表 7 に示す。表中の * は 5% の危険率で有意差を示し，** は 1% の危険率で有意差を示す。

表 7 に示されるように要因 A，C，D，AD，ACD に 1% の危険率で有意差が認められ，AC，BC に 5% の危険率で有意差が認められた。

周波数平均値における各要因内の各水準間での最大ピークの分散分析結果を表 8 に示す。

要因 A の水準 A1—A2 において 1% の危険率で有意差が認められた。すなわち左側干渉時と右側干渉時

表 8 各要因内の各水準間における最大ピークの分散分析結果 (周波数)

要因	水 準
A	A1—A2**
B	B1—B5 B2—B6 B3—B7** B4—B8**
C	C1—C2** C1—C3** C2—C3
D	D1—D2** D1—D3** D2—D3**

A：干渉部位 B：導出部位 C：干渉量 (μm)

D：下顎運動 *：P<0.05 **P<0.01

の脳波の周波数に 1% の危険率で有意差が認められた。

要因 B では，左脳右脳の脳波の周波数に頭頂部，後頭部に 1% の危険率で有意差が認められ，前頭極部，前頭部には有意差が認められなかった。

要因 C では，コントロールと 50 μm の干渉時，コントロールと 100 μm の干渉時の脳波の周波数に 1% の危険率で有意差が認められた。なお，50 μm の干渉時と 100 μm の干渉時においては有意差が認められなかった。すなわち，コントロールと 50 μm の干渉時，50 μm の干渉時と 100 μm の干渉時の同じ 50 μm 差でも，前者には有意差が認められ後者には有意差が認められなかった。

要因 D では，開閉運動，タッピング，クレンチングのすべての水準間に 1% の危険率で有意差が認められた。

パワー平均値における各要因間での最大ピークの分散分析結果を表 9 に示す。

表 9 に示されるように要因 A，B，CD，ACD に 1% の危険率で有意差が認められ，AB に 5% の危険率で有意差が認められた。

パワー平均値における各要因内の各水準間での最大ピークの分散分析結果を表 10 に示す。

要因の A の水準 A1—A2，すなわち左側干渉時と右側干渉時のパワーに 1% の危険率で有意差が認められた。

要因 B では，左脳右脳の脳波のパワーに前頭部，後頭部に 1% の危険率で有意差が認められ，前頭極部に 5% の危険率で有意差が認められ，頭頂部には有意差が認められなかった。

要因 C では，コントロールと 100 μm の干渉時に 1% の危険率で有意差が認められ，コントロールと 50 μm の干渉時，および 50 μm の干渉時と 100 μm の干渉時には有意差が認められなかった。

要因 D では，開閉運動とタッピングに 5% の危険率

表 9 各要因間における最大ピークの分散分析結果
(パワー)

要因	自由度	変動	不偏分散	F 値
A	1.	6176.78	6176.78	117.5630**
B	7.	3734.89	533.556	10.1552**
C	2.	211.202	105.601	2.0099
D	2.	81.2931	40.6466	0.7736
AB	7.	1064.12	152.017	2.8934*
AC	2.	39.4099	19.7049	0.3750
BC	14.	779.734	55.6953	1.0601
AD	2.	66.5995	33.2997	0.6338
BD	14.	276.374	19.741	0.3757
CD	4.	2249.59	562.397	10.7042**
ABC	14.	333.993	23.8567	0.4541
ABD	14.	515.127	36.7948	0.7003
ACD	4.	1341.47	335.368	6.3831**
BCD	28.	1050.41	37.5145	0.7140
誤差	28.	1471.12	52.54	
合計	143.	19392.1		

A：干渉部位 B：導出部位 C：干渉量（ μm ）D：下顎運動 *： $P<0.05$ **： $P<0.01$

表 10 各要因内の各水準間における最大ピークの分散分析結果（パワー）

要因	水 準			
A	A1—A2**			
B	B1—B5*	B2—B6**	B3—B7	B4—B8**
C	C1—C2	C1—C3**	C2—C3	
D	D1—D2*	D1—D3	D2—D3	

A：干渉部位 B：導出部位 C：干渉量（ μm ）D：下顎運動 *： $P<0.05$ ** $P<0.01$

で有意差が認められ、開閉運動とクレンチングおよびタッピングとクレンチングには有意差が認められなかった。

IV. 考 察

1. 実験方法について

1) 被験者

実験的咬合干渉を付与する場合、被験者は全身および局所的に可能な限り正常であることが必要である。しかし、被験歯は何らかの理由で補綴処置を必要としていなければならない。そこで著者は、本学学生および職員 334 名を対象に考用モデルの観察を行い、そのうち被験者として適当と思われる 10 名を選択した。この際、選択基準は重要臓器および顎口腔系に特記すべき異常が認められず、欠損歯のない歯列を有し

ており自覚的他覚的にいわゆる顎関節症状¹⁷⁾を有していない者とし、さらに X 線診査、口腔内診査により被験歯の根尖部および辺縁部の歯周組織に異常の認められない者とした。

2) 干渉量

上下顎の歯の接触した状態から軽く咬合すると歯周組織に変形が起こり、上下顎の歯の間に 20~25 μm 程度の距離の減少が生じ、強く咬合すると歯の傾斜、歪みなども加わってさらに 20 μm 程度の減少がみられる^{6,18)}。また、臼歯部歯根膜の判別域について、Tryde ら¹⁹⁾は、確実に認識する厚さは 20~50 μm であるが、ほとんどの人は 40 μm の厚さを確実に認識すると報告している。Siirila と Laine²⁰⁾も臼歯部の判別域について 8~30 μm という数値をあげている。小川⁹⁾の実験では被験者自身が注意深く咬めばやや高いと感じるが、気にしなければその存在を意識しない程度の厚さは 45~75 μm であったと報告している。以上のように、干渉量は咬合によって生じる上下顎間の距離の減少値よりも大きく、ほぼ確実に厚さを認識することが可能であり、しかも判別閾値に近いという理由から 50 μm と決定した。しかしながら本研究では 10 名の被験者のうち 1 名は 50 μm の干渉量をほとんど意識しなかった。

関根⁹⁾は、実験的咬合干渉を口腔内に付与して最大咬みしめを行わせた時でも早期接触の存在を認識でき、しかも被験者が 2 週間の付与に十分耐えられる干渉量が 114 μm 程度であったと報告している。田中⁶⁾は 300 μm 高い補綴物を装着した時、歯の動揺が認められ、逆に 120 μm 高い補綴物を装着した時、歯の動揺度はほとんど変化を示さなかったと報告している。さらに田中⁶⁾は、歯根膜の 1/3 以下の圧迫に至らない補綴物の高さを 100 μm と推定している。以上のことから、被験者全員が確実に咬合干渉を認識し、しかも歯周組織の損傷や歯の動揺を起こさない干渉量として 100 μm を選択した。

3) 脳波の記録

脳波を記録する場合、脳波以外の電氣的雑音 artifact の混入を可及的に少なくすることが重要である。一般的に被験者に起因する artifact は筋電図、脈波、心電図、開閉眼と眼球運動、発汗、体動および呼吸運動などがあり、被検者以外に起因する artifact は電極の接着不良、交流、静電誘導などがある²¹⁾。本研究では被験者に下顎運動を行わせるため特に側頭筋筋電図が問題となる。側頭筋筋電図のパワースペクトルは安

静時で主要成分が 50 Hz 付近にあり、咬みしめることにより高域に移行する²²⁾。このことから脳波計の high cut filter を 25 Hz とした。その他の対策として、前述のシールドルームを使用し、基線の動揺が生じないように数箇所固定し、実験者は最小の人数とした。また、被験者に閉眼させ、頭部をヘッドレストで固定した。さらに、脳波記録時にモニターを観察し、明らかに artifact の影響と思われる部位は分析対象から除外した。

4) 被験項目

下顎の基本運動は開閉運動、側方運動、前後運動である。これに対し、臨床的に問題視されている下顎運動としてブラキシズムがあり、これにはグライディング、クレンチング、タッピングの 3 種類がある²³⁾。

Ramfjord²⁴⁾ は、ブラキシズム患者のすべてに早期接触が認められたと報告している。石川²⁵⁾ は、20 歳から 64 歳までの歯周疾患患者 60 名についてブラキシズムを調査した結果 93% に認め、クレンチングが圧倒的に多く、以下グライディング、タッピングであったと報告している。すなわち、早期接触が神経筋機構に影響を及ぼし、ブラキシズム特にクレンチングの引き金として作用するものと思われる。そこで著者は、正常な下顎の基本運動である開閉運動とブラキシズムとしてのクレンチング、タッピングを被験項目とした。

5) 分析

脳波を対象とする研究は、取り扱っている脳波を判読しなければならない。通常、それは記録波形の単に眼による観察によって行われている。しかし、この方法では主観に基づく誤差が入りやすく、またこのような視察では判読不可能な場合もある。そこで脳波の波形から、基礎的あるいは臨床的に有用なデータの抽出を、数学的または機械的な方法によって行おうとするのが脳波の分析である。

本研究で用いたコンピューター周波数分析法は、脳波を一定の周期で繰り返す波動曲線すなわち数学でいう周期関数とみなし、アナログ波形として得られた情報を数学的に処理することが可能である。本研究では $T = N\Delta t$ を 10 秒間の時間軸とし、1 V をフルスケールとした電圧軸を 12 Bites 4,096 個の情報量として分解した。つまり、1 ward を 60 msec と設定し、求める最大周波数は $N/2\Delta f$ で求めることが可能であり、 $\Delta f = 1/T$ という関係から脳波測定範囲を十分にカバーすることができ、今日最も合理的とみなされている

る脳波分析法である²⁶⁾。

2. 結果について

1) 下顎安静位

国際用語委員会は下記に示すように脳波の周波数帯域を分類している²⁷⁾。

δ ……周波数が 4 Hz より少ないもの

θ ……4 Hz 以上で 8 Hz より少ないもの

α ……8 Hz 以上で 13 Hz より少ないもの

β ……13 Hz より多いもの

本研究における下顎安静位の周波数平均値は、すべての部位において α 波帯域に存在していた。一般的に成人の安静、覚醒、閉眼時の脳波は、およそ 10 Hz、30~70 μ V の美しい正弦波 (α 波) が後頭部優位に規則正しく出現する²⁸⁾。さらに連続性のよい α 波を示す時はくつろいだ状態を示すものであり、 β 波の優勢な記録は注意集中時や不安、緊張状態を示すものであると考えられている²⁸⁾。すなわち、本研究における被験者の精神状態に特記すべき不安や緊張は認められない。したがって得られたデータは信頼性がおけるものと考えられる。

2) 干渉部位の違いによる脳波の有意差について

歯根膜から出た情報は下歯槽神経または上歯槽神経を通り、三叉神経核に投射され橋、延髄、頸髄のレベルまで広がってゆき、さらに視床後内側腹側核を経て大脳皮質感覚野に達すると考えられている²⁹⁾。また、三叉神経中脳路核に細胞をもつ一次求心神経経路 (MS) が、咀嚼中の下顎運動の反射機序に関与する歯の接触時の無意識的な認識を行う固有感覚性のものであると考えられている³⁰⁾。つまり、個々の歯の接触状態を乱されるような状態が生じたならば、何らかの大脳皮質の反応として現れることが示唆された。

1987 年船越³¹⁾ は、ラットの一側の下顎歯胚をすべて摘出して固形飼料で飼育後、脳組織標本を調べると、歯胚摘出と反対側の脳神経細胞の一部が減少していたと報告している。

一方脳波に関しては、感覚刺激を与えると脳波に変化が起こる。通常これにより α 波は消失し、 β 波などの速い低電位の波におきかえられる (いわゆる α 波の blocking)。この blocking は一側の刺激だけでも両側に起こる。しかし、この場合の blocking はかならずしも両側性に同期しているわけではなく、反対側の blocking の方がより著明であり、かつ早く起こる。また刺激消失後ふたたびこの波が現れてくるのも

反対側の方が早い²⁷⁾。

以上のように体の一侧に与えられた感覚刺激は、両側の大脳皮質に投射されるが、両側性に同期しているわけではなく反対側の大脳皮質により影響を及ぼすと考えられる。

本実験における干渉部位の違いによる脳波の有意差もこのようなメカニズムによって現れたと考えられる。

3) 導出部位の違いによる脳波の有意差について

下顎運動を行うことにより、周波数は下顎安静時に比べ高域化する傾向が認められた。この傾向はコントロール、干渉時ともに認められるが干渉時の方がより強く認められた。さらにこの傾向は、タッピング時の前頭部、クレンチング時の前頭部、前頭極部に特に強く認められ、 α 波から β 波への移行が認められた。このことは大村と小野³²⁾の報告にみられるような、一般的に注意を集中している精神活動時に出現する β 波は賦活型脳波と呼ばれ、前頭部、中心前回付近で記録されるという報告とほぼ一致した。

ヒトが何かを意図している間、すなわちあることをしようとする意志が働いたとき、ニューロンに特異的なパターンのインパルス放電が起こり、徐々に増大し大脳全体に広がる陰性電位が発生する。最終的には、ある特定の運動をしようとする意志は、その運動をつかさどる運動野の特定の細胞群を活動させる³²⁾。運動野は中心溝の前方に第一次運動野、その前方に前運動野として存在している。

以上の見地から下顎運動時、なかでもタッピングやクレンチングのように比較的運動量の大きい動作を行うことにより同部の脳波が賦活され、その結果周波数の高域化が現れたものと考えられる。

分散分析の結果、周波数、パワーとも脳波に有意な左右差が認められたのは後頭部であった。このことは大脳皮質の機能の局在により、後頭部は視覚とともに理解、判断等の機能をつかさどることや、前述の体の一侧に与えられた感覚刺激は反対側の大脳皮質により影響を及ぼすことによるものと考えられる。すなわち、左側に咬合干渉を与えた場合は右脳に、右側に咬合干渉を与えた場合は左脳により投射され影響を及ぼすと思われる。本実験においては一部に同様の傾向が認められたが、全体的にはこのような傾向が明確には認められなかった。このことは1981年角田³³⁾の報告にみられるような左脳は知的でより分析的な仕事を分担するが、右脳は言葉を使わない知覚、理解、記憶に

秀れており、細かな分析よりは大きっぱに全体を把握する能力に特徴を発揮するという、つまり特定の働きが一方の脳によってコントロールされている大脳半球優位性³³⁾により、必ずしも前述のような傾向が認められなかったと考えられる。

また結果で述べたように、咬合干渉を与えた際の周波数の高域化現象は右脳に比べ左脳でより顕著に認められ、パワーでは反対に右脳により顕著に認められたことも大脳半球優位性によるものと考えられる。

4) 干渉量の違いによる脳波の有意差について

各干渉量間に有意差が認められたのは、周波数ではコントロールと50 μ mの干渉時、コントロールと100 μ mの干渉時であり、パワーではコントロールと100 μ mの干渉時のみであった。この結果から、正常なクラウンに対して100 μ m過高のクラウンは脳波に影響を及ぼすことが確認された。50 μ m過高のクラウンも周波数に有意差が認められたことから、脳波に影響を及ぼしていると考えられる。これに対し、50 μ mと100 μ mの間には周波数、パワーともに有意差が認められなかった。

前述のTrydeら¹⁹⁾、SiiriläとLaine²⁰⁾や小川⁵⁾の報告のように、50 μ mの干渉量は臼歯部の判別閾値に非常に近い値であるが、本研究の結果から中枢への影響が確認された。

ByersとDong³⁴⁾はネコの犬歯において、歯根膜感覚受容器のMSタイプのもは、根尖部1/3に受容器が集中していると述べている。すなわち、本実験における垂直的的刺激に対して得られた結果と類似性があると考えられる。

5) 下顎運動の違いによる脳波の有意差について

歯に与えた圧刺激の強さと歯の感覚の大きさとの関係を表す法則として、Fechnerの精神物理法則とStevensのベキ関数の法則があり、両者とも刺激の強さが極端に大きかったり小さかったりする範囲を除くと、感覚の強さは刺激の強さの対数に比例して増減すると報告されている³⁵⁾。

また、刺激速度とインパルス頻度に関して坂田³⁶⁾は、感覚単位が刺激負荷時に発現するインパルス頻度は、刺激速度が速い方が大きいと報告している。

以上の見地から、周波数における各下顎運動間、特に開閉運動に比較して圧刺激の大きいクレンチングや刺激速度の速いタッピングに有意差が生じたものと考えられる。

パワーにおいてはクレンチングと他の下顎運動間に

有意差が認められなかったが、これは生体に咬合干渉という感覚刺激が与えられたことにより、 α 波の blocking が生じ α 波に比較して周波数が大きく振幅の小さい β 波におきかえられたことによるものと思われる。また、下顎安静位の α 波から β 波への移行が最も明確に認められたのはクレンチングであった。このことから咬合干渉が存在した場合、中枢に最も影響を及ぼすのはクレンチングであると考えられる。

V. 結 論

著者は咬合干渉が中枢に及ぼす影響を検討する目的で、個性正常咬合を有する被験者 10 名の下顎第 1 大臼歯に実験的咬合干渉を与え、種々の条件下における脳波を周波数スペクトル分析し、これによって得られた周波数値とパワー値を分散分析したところ以下の結論を得た。

1. コントロールと 50 μm の干渉時、およびコントロールと 100 μm の干渉時のそれぞれの脳波の周波数に有意差が認められたが、50 μm の干渉時と 100 μm の干渉時には有意差が認められなかった。

2. 左側干渉時と右側干渉時の脳波には周波数、パワーの両者に有意差が認められた。

3. 下顎運動を行うことにより脳波の周波数に高域化傾向が認められた。この傾向はコントロールと比較した場合、干渉時に強く認められた。特にこの傾向は前頭部に強く認められ、開閉運動、タッピング、クレンチングの順に顕著となった。

4. 各下顎運動のなかで、クレンチングは下顎安静位における α 波優位から β 波への移行が最も明確に認められた。

5. 後頭部ではすべての実験条件下の脳波において周波数、パワーに有意な左右差が認められた。

6. 50 μm の咬合干渉量は臼歯判別閾値に近い値であるが、本研究により中枢への影響が確認された。

以上、個性正常咬合を有する被験者に実験的咬合干渉を与え、種々の条件下における脳波を分析することにより、咬合干渉と中枢の反応の一端を明らかにすることができた。

稿を終えるにあたり、終始ご懇篤なるご指導とご校閲を賜りました歯科補綴学第 I 講座柳生嘉博教授に深甚なる謝意を捧げます。また、種々ご助言を賜った歯科補綴学第 II 講座天野秀雄教授ならびに口腔外科学第 I 講座山本明教授に深謝いたします。

す。さらに、本研究に対して終始ご親切なご指導とご協力をいただいた谷 勲行助教授をはじめ歯科補綴学第 I 講座の各位に深く感謝いたします。

本論文の要旨は、第 81 回日本補綴歯科学会学術大会 (1989 年 5 月 27 日: 長野)、第 82 回日本補綴歯科学会学術大会 (1989 年 10 月 21 日: 横須賀) ならびに第 83 回日本補綴歯科学会学術大会 (1990 年 5 月 26 日: 郡山) において発表した。

文 献

- 1) 佐藤文彦, 林 和彦, 佐藤義廣ほか: 早期接触の咀嚼系に及ぼす影響 (第一報), 日歯周誌, 16: 321~327, 1974.
- 2) 高橋禎生: 実験的咬合障害に関する EMG, 歯学, 62: 58~90, 1974.
- 3) 高橋篤生: 麻酔下における実験的咬合障害の EMG, 歯学, 62: 91~105, 1974.
- 4) 伊藤陽介, 小林義典: 下顎運動, EMG, ならびに咬合音の三者の同時記録による咬合診断に関する研究, 歯学, 73: 469~569, 1975.
- 5) 小川晴彦: 実験的咬合干渉が咀嚼筋筋電図の時間的要素におよぼす影響, 歯科医学, 39: 421~440, 1976.
- 6) 田中伐平: 咬頭嵌合位における補綴物の高さが顎口腔系に及ぼす影響, 補綴誌, 19: 666~692, 1976.
- 7) 羽田 勝, 柄 博治, 山内和夫: 実験的早期接触が咀嚼機能に及ぼす影響, 広歯誌, 10: 246~263, 1978.
- 8) 垂水 修: 実験的咬合干渉が睡眠中の咀嚼筋活動に及ぼす影響, 歯科医学, 41: 191~210, 1978.
- 9) 関根紀彦: 実験的早期接触が咀嚼筋 EMG burst におよぼす影響, 歯科医学, 42: 364~380, 1979.
- 10) 林 清平: 実験的咬合干渉が咀嚼系に与える影響, 歯学, 70: 687~764, 1982.
- 11) Anderson, D.J., Hannam, A.G. and Matthews, B.: Sensory mechanisms in mammalian teeth and their supporting structures, Physiol Rev, 50: 171~195, 1970.
- 12) 谷 勲行: 下顎安静位における脳波の自己相関関数とそのパワースペクトルについて, 歯科医学, 44: 731~751, 1981.
- 13) 横田敏勝: 三叉神経系の電気生理学的研究 第 1 報 下歯槽神経の大脳皮質投射, 齒基礎誌, 14: 316~322, 1972.
- 14) Cobb, W.A. (藤原哲司): Recommendations for the practice of clinical neurophysiology (臨床神経生理検査の指針—脳波・筋電図・大脳誘発電位—, 5~11, 金芳堂, 京都, 1986), 1983.
- 15) 森 温理, 佐藤謙二: 初心者のための脳波の読み方, 1~7, 新興医学出版社, 東京, 1984.
- 16) 吉田 實: 要因計画と分割区法, 応用統計ハンドブック編集委員会編, 応用統計ハンドブック, 229~249, 養賢堂, 東京, 1984.

- 17) Schwartz, L.L. : A temporomandibular joint pain-dysfunction syndrome, *J Chron Dis*, 3 : 284~293, 1956.
- 18) 坂東永一, 田中伐平, 長谷川成男 : 半導体ストレン・ゲージを用いた咬頭嵌合位測定装置, 補綴誌, 18 : 329~336, 1975.
- 19) Tryde, G., Frydenberg, O. and Brill, N. : An assessment of the tactile sensibility in human teeth, An evaluation of a quantitative method, *Acta Odontol Scand*, 20 : 233~256, 1962.
- 20) Siirila, H.S. and Laine, P. : The tactile sensibility of the parodontium to slight axial loadings of the teeth, *Acta Odontol Scand*, 21 : 415~429, 1963.
- 21) 井上令一, 赤沢 滋 : 臨床脳波 判読の手びき, 175~199, 南山堂, 東京, 1986.
- 22) 三谷春保 : 正常筋電図, 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, 242~256, 日本歯科評論社, 東京, 1976.
- 23) 石川 純, 佐藤文彦 : Bruxism, 石川 純, 河邊清治, 河村洋二郎編, 咬合を考える, 歯界展望/別冊, 89~102, 医歯薬出版, 東京, 1973.
- 24) Ramfjord, S.P. : Bruxism, A clinical and electromyographic study, *J Am Dent Assoc*, 62 : 21~44, 1961.
- 25) 石川 純, 徳永憲一, 鈴木文雄ほか : 歯周疾患々者の舌や頬にみられる歯の圧痕と歯ぎしりなど, 筋緊張癖との関係について, 口病誌, 34 : 493, 1967.
- 26) 時夷利彦, 藤森聞一, 島藺安雄ほか : 新脳波入門, 145~158, 南山堂, 東京, 1980.
- 27) 時夷利彦, 藤森聞一, 島藺安雄ほか : 新脳波入門, 117~143, 南山堂, 東京, 1980.
- 28) 井上令一, 赤沢 滋 : 臨床脳波 判読の手びき, 17~54, 南山堂, 東京, 1986.
- 29) Taira, K. : Characteristics of periodontal mechanosensitive neurons in the first somatosensory cortex of the cat, *Brain Res*, 409 : 52~61, 1987.
- 30) Steenberghe, D. : The structure and function of periodontal innervation. A review of the literature, *J Periodont Res*, 14 : 185~203, 1979.
- 31) 船越正也 : 咀嚼と脳, 文部省特定研究「咀嚼システムの基礎的研究」総括班編, 咀嚼システム入門, 211~224, 風人社, 東京, 1987.
- 32) 大村 裕, 小野武年 : 大脳辺縁系, 大村 裕編, 概説生理学動物機能編, 247~273, 南江堂, 東京, 1988.
- 33) 角田忠信 : 大脳と左と右 (I), 臨床脳波, 23 : 62~69, 1981.
- 34) Byers, M.R. and Dong, W.K. : Comparison of trigeminal receptor location and structure in the periodontal ligament of different types of teeth from the rat, cat, and monkey, *J Comp Neurol*, 279 : 117~127, 1989.
- 35) Bowman, D.C. and Nakfoor, P.M. : Evaluation of the human subject's ability to differentiate intensity of forces applied to the maxillary central incisors, *J Dent Res*, 47 : 252~259, 1968.
- 36) 坂田三弥 : 歯根膜, 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, 120~128, 日本歯科評論社, 東京, 1976.