

歯髓の選択電気刺激で得られた大脳皮質誘発 電位の局在性について

鈴木 隆 八幡 文 和 平 孝 清
松本 範 雄 林 謙 一郎

岩手医科大学歯学部口腔生理学講座* (主任：鈴木隆教授)

[受付：1977年6月4日]

抄録：ネコの8本の歯髓に電気刺激を与え、大脳皮質誘発電位(EP)を記録した。歯髓内麻酔ならびに抜髄操作などにより、EPは歯髓神経要素だけの興奮で得られることを確認したのち、下記の観察を行った。1) EPの波形は、潜時の長短により第1次誘発電位と第2次誘発電位に大別される。前者の頂点時、振幅は刺激強度の対数に比例して規則的に増減した。2) 第1次EPの振幅を指標に、歯髓から大脳皮質への神経投射を調べると、体性領S_IならびにS_{II}へは対側歯よりの投射が優勢で、S_{II}は両側性支配を受けるが同側歯よりの投射が著名であった。3) 上記投射を歯牙の位置、種類別に比較すると、下顎歯優勢で、臼歯からの投射は犬歯のそれよりも明瞭であった。4) 歯列の同型複原的投射の存否に関する所見については結論を下すことは困難と思われた。5) 2本の歯牙を同時に刺激(複合刺激)すると、その組合せの選び方によりEPは促進または抑制効果を受けた。

緒 言

Marshall *et al.* (1937)¹⁾により末梢感覚器の触刺激に応答する大脳皮質の電位変動が記録されて以来、体性感覚性誘発電位(somatosensory evoked potential)の研究はAdrian (1940²⁾, 1941³⁾, Bard (1938)⁴⁾, Bartley & Heinbecker (1938)⁵⁾, Cohen *et al.* (1957)⁶⁾, Darian-Smith (1964⁷⁾, 1966⁸⁾, Dawson (1947)⁹⁾, Forbes & Morison (1939)¹⁰⁾, Hirsch *et al.* (1961)¹¹⁾, Landgren *et al.* (1967)¹²⁾, Malcolm & Darian-Smith (1958)¹³⁾, Penfield & Boldrey (1937)¹⁴⁾, Woolsey (1943¹⁵⁾, 1947¹⁶⁾, Woolsey *et al.* (1942)¹⁷⁾, 横田 (1972)¹⁸⁾など多くの人々によって行われて来た。彼等の殆どは第1次誘発電位(primary evoked potential)の分布を指標にし、皮質投影図の観察に主眼を置いていた。

しかも、上記著者等の成績を要約すると、体性領の生理学的性質に関する見解については、次のように二大別される。それは、①大脳皮質表面における末梢受容野の配列は原則的に皮膚節的配列と一致すると云う同型複原(isomorphic replication)¹⁹⁾²⁰⁾²¹⁾と②大脳皮質個々の神経細胞は特定の種(submodality)の刺激によって興奮するという様相特異性(mode specificity)²²⁾²³⁾の見解である²⁴⁾。今このような知見を口腔諸構造に由来する感覚情報の皮質投射について適用してみると、ある歯牙の歯髓神経より発するimpulseは体性領の特定部に投射されることが想定される。

一方、周知のように上・下歯槽神経束には、歯髓からの感覚神経線維(A δ とC線維)²⁵⁾²⁶⁾だけでなく、歯根膜、歯内粘膜等の各種受容器(触、圧、温、冷、痛)から発する種々の神経

Localization of the cortical potentials evoked by electrical stimulation of the selective tooth pulp in cats.

Takashi A. SUZUKI, Fumikazu YAHATA, Kosei TAIRA, Norio MATSUMOTO and Kenichiro HAYASHI
(Department of Oral Physiology, Iwate Medical University School of Dentistry, Morioka 020)

*岩手県盛岡市中央通1丁目3-27 (〒020)

Dent. J. Iwate Med. Univ. 2 : 86-97, 1977

線維が含まれている。従って、神経束断端を刺激し、皮質投射を求めた実験¹⁸⁾では、その神経束の支配領域の規模を漠然と知ることができるとしても、歯髄感覚(痛覚)の詳細な投射部位を知ることは困難であろう。そこで、本論文ではこの困難を克服するため、刺激部位を明確化でき、他種感覚の混入の心配がない歯髄刺激を用いて、歯列の同型複原を検索することを目的とした。

また、近年、Andersson *et al.*(1973)²⁷⁾, Melzack & Haugen(1957)²⁸⁾, Van-Hassel *et al.*(1972)²⁹⁾, Vycklicky *et al.*(1972)³⁰⁾は特定の歯髄刺激を用い、歯髄の感覚線維は体性領の一部に投射することを報告している。

しかし、それらの実験では刺激点をネコの犬歯、または、サルの切歯など1本の歯髄に限局しているから、歯髄投射の配列状況を観察するまでに至っていない。著者等はこの欠点を補うため、ネコの上・下、左・右側犬歯、臼歯等合計8本の歯髄に刺激電極を置き、歯根膜や他の口腔諸構造の感覚の混入を極力さけた条件で誘発電位の投射部位を観察した。

なお、本実験は脳皮質単1 neuronの単位放電(unitary discharges)を記録する際、微細電極の打ち込み点(target point)を、あらかじめ知るための予備実験的性格を持っていることを付記しておく。

実験方法

平均体重3.2kgのネコ23匹を実験に用いた。動物は最初etherで導入麻酔され、気管切開と股静脈のcannulizationが施されてのち、脳定位固定器に装着された。ネコの体温は直流heating padを用い、直腸温度で $38.5 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ に制御すると同時に手術的侵襲部位は忽論のこと、固定器への接触点はすべてxylocaine ointmentで充分麻酔するよう注意した。更にketalar(17mg/kg)を筋注した後、左眼窩上後壁を含めて左前頭部のcraniotomyを行ない、Gyrus sigmoideus又はG. coronalisを中心にG. suprasylvius anteriorが入るまで充分広く硬膜切除し、穿孔

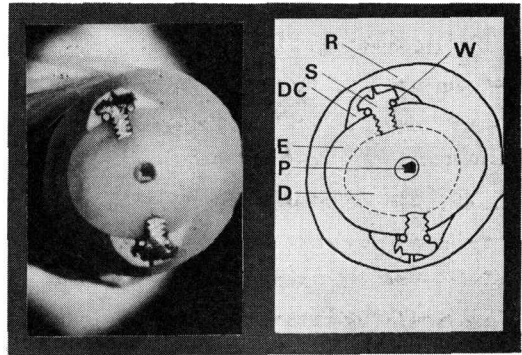


図1 刺激電極の装着

左図は犬歯横切断の顕微鏡写真、右図はそのトレース。S:時計用ネジ(screw), W:エナメル銅線(wire), DC:デンタルセメント(dental cement), R:レジン(resin), E:エナメル(enamel), D:象牙質(dentine), P:歯髄(pulp)を表わしている。

部骨端には utility wax で堰堤を作り、体温と等しく保った paraffin pool で脳皮質を保護した。

上顎、下顎の左右両側の犬歯並びに臼歯(合計8本)に、それぞれ約1mmの深さの2ヶの小孔(ϕ ; 0.6mm)を開け、 150μ のエナメル銅線を溶着した径0.65mm、長さ1.2mmの時計用ネジ(セイコー No. 012-2141)を埋め込み刺激用電極とした。この電極周辺は dental cement で被い、更に歯冠部全体を即時重合 resin で被覆絶縁した(図1)。電極間抵抗は約25-40K Ω であった。刺激電流は isolator [日本光電 MSE-3R]を通じて2.5msecの間隔でパルス幅0.2msecの方形波2ヶを与えることにし、それぞれの歯髄の閾値は下顎開口反射を指標に決定した。

etherの麻酔から充分回復した後、股静脈からGallamine triethiodideを5.3mg/kg/hourの割合で注入し、ネコを不動化した。

ガラス管で封入した直径 250μ の白金イリジウムボール電極を脳皮質表面に置いて関電極とし、耳介と頸部皮下にそれぞれ銀一塩化銀の不関電極と中性電極を置き誘発電位を導出した。通常CRO(日本光電VC-7AVH)で誘発電位を観測しながら、統計処理用電子計算機(日本光電ATAC-250)に入力し、20~50回の平均加算を行なったときの電位変化を、オッ

シロ写真(岩崎 UP-7)又は X-Y recorder (横川 type-3077)に出力した。増幅器の時定数は約0.3-0.1secに固定した。

実験成績

1 誘発電位の波形と歯髄刺激の吟味

図2はネコの大脳左半球前頭葉で歯髄の電気刺激により得られた誘発電位 (evoked potentials) の代表的波形をまとめたものである。電位の波形は刺激部位や導出電極の位置の相異によって不規則に変化し、一貫性が見出しにくい。しかしながら、導出電極が正しく体性領 (S_I) に置かれた場合、その誘発電位は潜時の短い(約8-20msec)、明瞭な振幅50-100 μ Vの陽性変動(第1次誘発電位: primary evoked potential, 図2; 矢印で示す)と不規則で潜時の長い(30-80msec)陽性変動(第2次誘発電位: secondary evoked potential, 図2; 左列第3トレース)より成ることが知られよう。一方導出電極の局在が不適の場合(図2; ×印), その第1次誘発電位は消失するか不明瞭で、潜時と持続時間の一定しない第2次誘発電位のみが記録される。

一般に、第1次誘発電位は限局性が高いが、第2次誘発電位は限局性に乏しく、大脳皮質に広く出現して、他の感覚性誘発電位の性質と一

致するところが多い。従って、本実験では第1次誘発電位を観察の対象とし、以下第1次誘発電位を単に誘発電位、または、電位と略称して述べる。

a) 歯髄麻酔と誘発電位: 上述のように、歯髄性誘発電位は他の体性感覚性電位とまぎらわしいうえ、更に、歯髄刺激に際し、歯牙から歯根膜、または歯肉等への電流滑走の結果、歯髄以外の受容器の興奮過程が混入している恐れがある。この疑念を除くため、下記の吟味を行った。

導出電極を体性領 S_I に固定したまま、刺激電極を装着した犬歯の尖端を水平切断し、まず歯髄を露出して刺激を与え、対照と等しい誘発電位が得られることを確認する。その後1%-lidocaine hydrochloride を歯髄腔に注入し誘発電位に及ぼす麻酔効果を観察した。図3Aに見られるように、電位は薬剤注入直後から10数分まで急速に消失し、その後徐々に回復する。1時間後には約80%まで回復するが、3時間から5時間までの観察では100%に復原することはなかった。これは薬剤注入の際麻酔用注射針によって歯髄に損傷が生じたためと考えられる。

b) 抜髄効果と誘発電位: a) で述べた成績は麻酔液が歯根根尖孔より歯槽腔に拡散し、歯

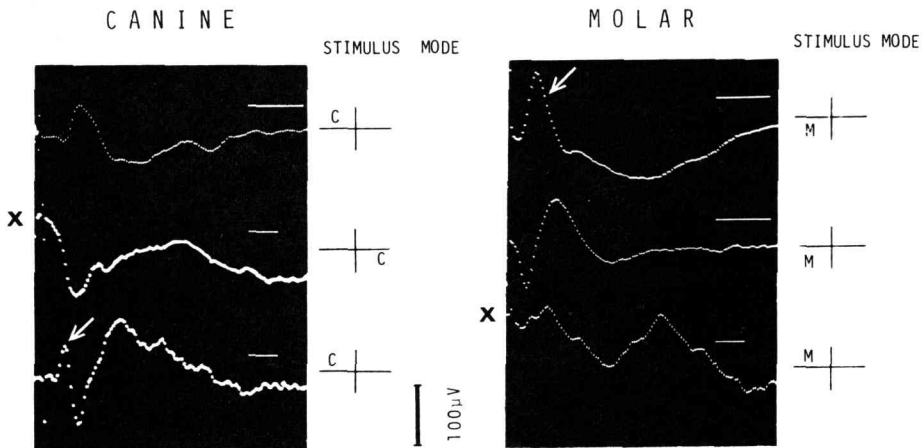


図2 歯髄刺激による誘発電位の代表波形

それぞれのトレースの右の歯式は刺激部位を表わしている。例えば $\overset{c}{|}$ は上顎右側犬歯刺激を示す。矢印: 著名なる第1次誘発電位, ×印: 第1次誘発電位が不明瞭な例, それぞれのトレースの右の時標: 20msec, 較正電圧: 100 μ V, 刺激電圧: 20V, 加算回数: 50回, 歯髄刺激部位により、波形にかなりの相違があることに注意。

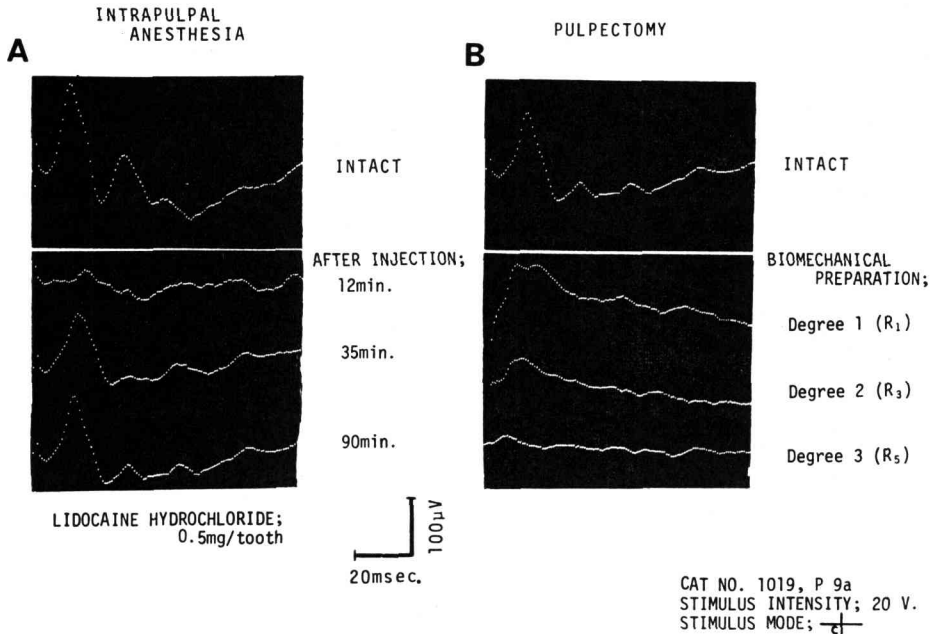


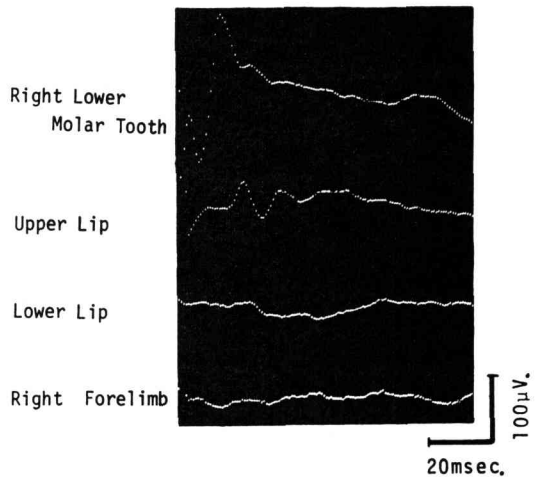
図3 A : 誘発電位に及ぼす塩酸リドカインの効果, 上から投与前, 投与後12分, 35分, 90分の誘発電位を表わす。投与量は1%, 0.3ml, B : 誘発電位に及ぼす抜髄効果, degree 1, 2, 3はそれぞれ reamer の太さを表わす。刺激部位: 下顎右側犬歯, 刺激電圧: 20 V, 導出部位: S₁, 時標: 20msec, 校正電圧: 100µV, 加算回数: 50回。

槽神経叢まで効果が波及したのではないかとの疑念が残る。これを解決するため抜髄試験が実施された。歯科臨床で使用されているreamerとfile(No. 1-5)を用い, 上述の麻酔回復犬歯の根管を拡大するとともに歯髓を破壊して, 抜髄程度と誘発電位の相関を観察した(図3 B)。図中, Degree 1, 2, および3はそれぞれreamerの太さを表わしているが, 抜髄が完了すると電位は殆ど消失することが観察された。

c) 末梢刺激部位と誘発電位: 図4は末梢刺激の部位を種々に変えたときの G. sigmoideus lateralis で見られた電位変化を示す。最上段のトレースは導出電極に対し反対側下顎臼歯を刺激したとき得られた電位で, 潜時の短い著明な誘発電位が認められる。記録用電極の位置をそのままにし, 刺激部位を臼歯部上唇の内側粘膜面に移すと, 遥かに潜時の長い誘発電位が得られた。また, 臼歯部下唇粘膜や対側前肢に刺激点を移した場合, 誘発電位は何ら認められなかった。

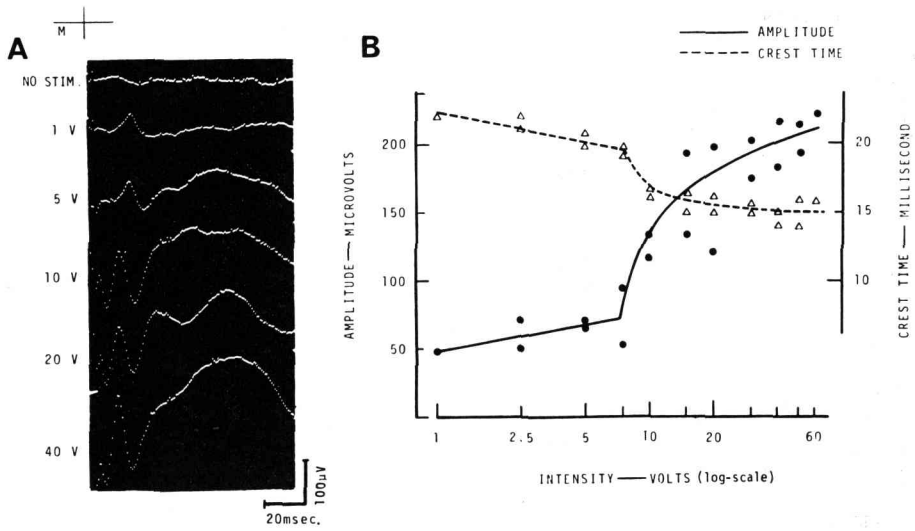
上述のa, b, c, 項で得られた成績は本実験で採

STIMULUS SITE



CAT NO. 1023, P-10b
STIMULUS INTENSITY; 50 V.

図4 歯髓電気刺激と歯髓以外の口腔構造および前肢を電気刺激したとき得られる誘発電位
導出電極を G. sigmoideus lateralis (S₁) の一点に固定し, 第1トレースからそれぞれ下顎右側犬歯, 上唇粘膜, 下唇粘膜, 右側前肢刺激で得られた誘発電位, 時標: 20msec, 校正電圧: 100µV, 刺激電圧: 50V, 加算回数: 50回, 下唇および前肢刺激では誘発電位が記録されないことに注意。



CAT NO. 1023, P-10b

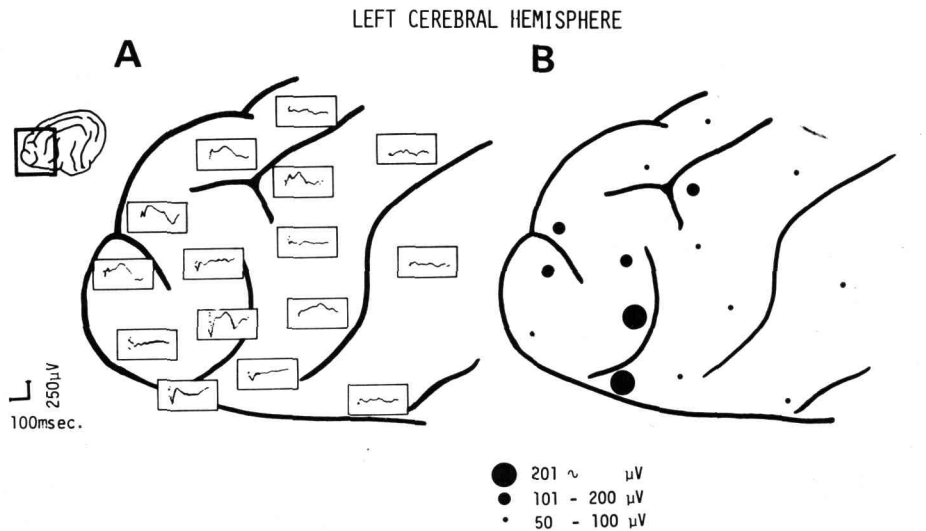
図5 誘発電位の強さ—振幅・頂点時曲線

Aは刺激電圧を1~40Vに変化した場合に得られた誘発電位の記録。刺激部位：下顎右側臼歯，導出部位：S₁，時標：20msec，較正電圧：100μV，加算回数：50回。BはAの誘発電位の振幅（実線）および頂点時（破線）と刺激電圧との相関関係，横軸：刺激電圧（対数目盛），縦軸：振幅（μV）と頂点時（msec）。注）この曲線は代表例で，刺激電圧の増加又は減弱過程につき計測されている。

用した歯髄刺激は歯髄内神経要素を選択的に刺激し，種々の歯周組織，歯肉口腔粘膜等の体性受容器は刺激されない事実を示唆するものと思われる。

2 誘発電位の強さ—振幅・頂点時曲線

誘発電位は刺激強度の変化に対応してどのように変化するのか調査した。図5は体性領S₁



CAT NO. 1015
STIMULUS INTENSITY; 20 V.
STIMULUS SITE; R.L. MOLAR TOOTH

図6 A：下顎右側臼歯刺激により皮質表面の色々な点で得られる誘発電位。時標：100msec，較正電圧：250μV，刺激電圧：20V，加算回数：50回，B：Aの第1次誘発電位の振幅を3段階に分けて表わしている。●：201μV以上，●：101~200μV，•：50~100μV。

に導出電極を置き、対側下顎臼歯に与える刺激電圧を 1 V から 60 V まで変えたとき見られる誘発電位の頂点時と振幅変化の代表例を示したものである。同図 A において、1 V の刺激電圧で得られた誘発電位は比較的長い潜時ののち、単相性の小陽性電位のみから成っているのに対し、5 V の電圧ではその電位は 2 相性となり、第 2 次電位を伴っている。さらに、刺激電圧が 10 V - 40 V と強まると、電位の潜時と持続時は急速に短縮し、振幅もまた増大する。第 2 次電位の振幅もまた増大するが、その頂点時は殆ど変わらない。

これらの電位変化を詳細に調査するため、刺激電圧の対数を横軸とし、電位の振幅と頂点時を縦軸にプロットした一例が図 5 B である。この実験では刺激電圧の強さは 1 V から 60 V の範囲で対数的に増減する往復過程につき観察された。興味のある所見は、約 7.5 V に分節点があり、刺激強度の低い側では直線的に、高い側では指数函数的に、その振幅と頂点時が増減することである。また、この強さ - 振幅・頂点時曲線の分節点は他の 2 例のネコでも確認された。この分節点前後の二過程の存在は歯髄内の神経要素に比較的太い A δ 線維と細い C 線維が含まれている事実³¹⁾と関連があろう。

3 誘発電位の局在と歯髄投射の優位性

記録用電極の位置(左大脳半球)に対し対側性下顎臼歯(右側)を刺激しながら、前頭葉皮質表面のいろいろの点で記録した誘発電位を表わしたものが図 6・A である。

比較のため、どの電位も同倍率の写真で標示され、記録点の上に配列されている。大きい電位変化は S. coronalis 近傍(S1)や G. suprasylvius

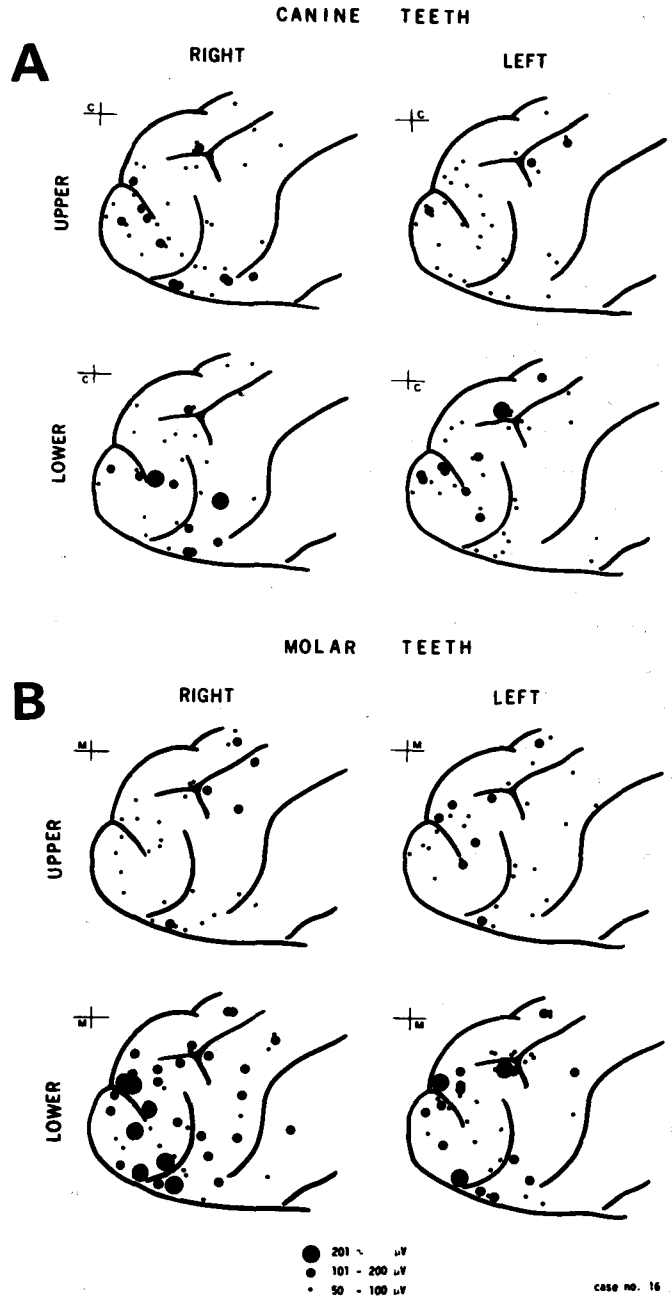


図7 8本の歯髄の皮質投射図(16匹のまとめ)

Aは犬歯、Bは臼歯の投射部位を示す。それぞれの図の左上の歯式は刺激部位を示し、その見方は図2と同じである。第1次誘発電位の評価は図6Bと同じ。刺激電圧: 20V, 加算回数: 50回。

anterior の S. ansatus 寄りの一部 (S_{III}) などに見られるが、この標示法は決して見やすいものではない。また、10数匹のネコの例をまとめて各電位波形を1枚の皮質表面図の上に表現することは甚だ困難なことである。そこで、特定の歯髄からの投射部位を判断するに当って、便宜上潜時の短い第1次誘発電位の振幅を三段階に分けて評価し、図6・Bのようにそれぞれ直径の異なる黒円で標示することにした(以下これを皮質投射図と云う)。同図Bでは一見してS_IならびにG. coronalisの眼窩後壁部で200 μ V以上の誘発電位の発生があったことが知られ、同時に投射部位の判断が容易となる。このような簡易標示法を16匹のネコに適用し、各例ともそれぞれ8本の歯牙へ別個に電気刺激を与えたとき得られた誘発電位の大きさと投射部位を示した皮質投射図をまとめたものが図7である。図7・Aの4組の皮質投射図は犬歯歯髄刺激で得られた結果を表わし、図7・Bの4組のそれはいずれも臼歯の歯髄刺激で得られたものである。さらに、上記A, Bを構成する4つの皮質投射図は上顎、下顎および左・右側の歯髄刺激で得られた成績を表わしている。例えば、上2つの皮質投射図は上顎歯牙の刺激で得られた誘発電位の大きさと局在を、下2つのそれは下顎歯牙の刺激で得られた皮質投射図を表わしている。また縦にRIGHT, LEFTと表示してあるのは、各々、右側(対側性)と左側(同側性)歯牙刺激を用いたときの結果を表わしている。従って、歯髄刺激の部位を念頭に置き、誘発電位の振幅の大きさと、投射部位の密度を勘案すると、図7から次のことが推論される。すなわち、1) 犬歯、臼歯からの歯髄性求心線維の投射を比較すると、臼歯よりの投射はより著明である。2) 上顎・下顎歯からの皮質投射を比較すると、下顎歯髄からの投射はより優勢であり、この傾向は犬歯、臼歯刺激のいずれでも認められる。3) S_I, S_I area への投射は対側性歯牙からの投射が著明であり、特に対側性臼歯で著しい。しかしS_I への投射は同側性のものも僅かに認められた。4) S_{II} area への投射は

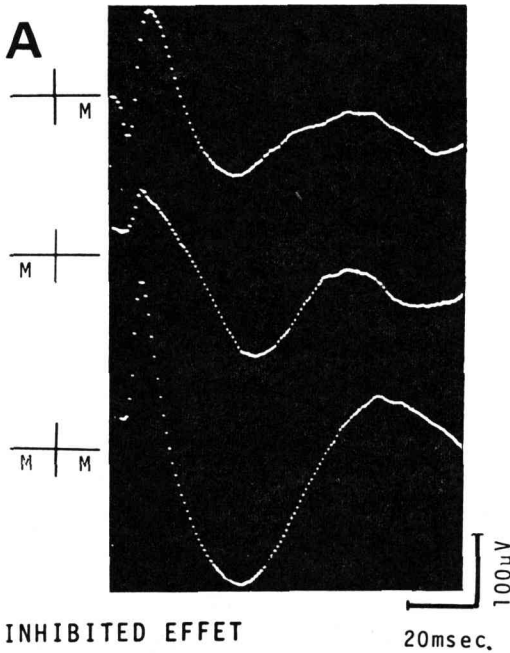
あまり著明ではないが、同側性投射がやや優勢であり両側性支配を暗示すると思われた。5) 一方、一つの歯髄からの投射は多様性を示すため皮質表面の誘発電位を指標にして歯列の同型複原的投射を確認することは困難であった。これについては考按の項で触れることにする。

4 複合歯髄刺激と干渉効果

一般に末梢受容野内で近接する受容器から発する impulse は体性領(感覚野)の一部で収斂し、また、側方抑制などの起る事実が知られている。そこで、隔った2つの歯髄が同時的あるいは継時的に刺激(複合刺激)されるとき、誘発電位に干渉作用の起ることが予想される。図8Aは2本の臼歯を同時刺激したとき(同名歯組合せ)得られた促進効果を示したものである。同図の上方2つの電位は下顎対側臼歯(右側)と下顎同側臼歯(左側)の単独刺激で得られた電位で、それぞれ130 μ Vと60 μ V程度の陽性振幅を示している。しかし、上記2歯を複合刺激した場合(第3トレース)、得られる電位は著るしく増大して、約200 μ V以上の振幅を示し促進効果を現わしている。注目すべきは後者の波形変化であって、振幅の変化のみならず潜時と持続時に明らかな短縮を観察することができる。これらの促進効果は臼歯の複合刺激で起りやすく、少ない例外はあるが、対合臼歯間、または、上・下顎のうちの両側臼歯間などで著るしい。

また図8Bは2本の犬歯を同時刺激したとき(同名対角組合せ)得られた抑制効果の一例を示したものである。第1トレースは上顎同側犬歯(左側)の単独刺激で得た電位を示し、第2トレースはその対角位置にある下顎対側犬歯(右側)のそれを示している。前者の振幅は約180 μ Vで、後者のそれは、第2次電位と融合して計測され難い。第3トレースは上記2者の複合刺激で得られた電位で、著るしい抑制効果がみられ、その振幅は僅かに数10 μ Vで潜時の延長がみられた。このような抑制は犬歯間の複合刺激で起りやすく、特に、上・下顎対角歯組合せ

FACILITATED EFFECT



INHIBITED EFFECT

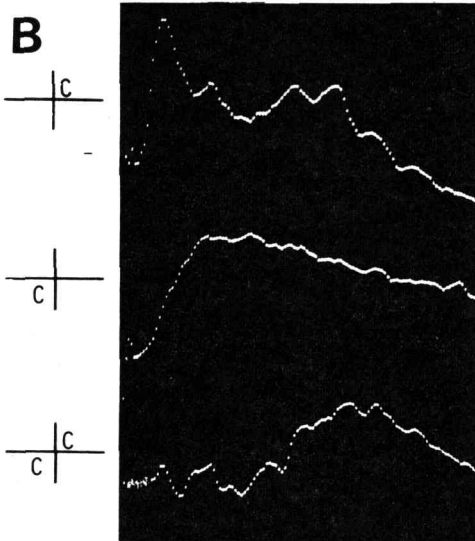


図8 複合刺激による促進および抑制効果

A : 促進効果の例, 歯式は刺激部位を示し, 見方は図2と同じ。時標: 20msec, 校正電圧: 100 μ V,
 B : 抑制効果の例, 時標: 左は20msec, 右は40msec, 校正電圧: 100 μ V, A・Bともに刺激電圧: 20V, 導出部位: S_I。

(例えば上顎同側犬歯と下顎対側犬歯などの斜対合歯組合せ)や異名斜対合歯組合せ(上顎同

側犬歯と下顎対側臼歯の組合せ)などに起りやすいように思われた。

この複合刺激で起る促進と抑制の干渉効果は, それぞれの単独刺激で得られた誘発電位の振幅の代数和ではない。また, 干渉効果と複合刺激の組合せの規則性についてはその詳細を他の論文で述べることにする。

考 按

最初, Adrian (1940²⁾, (1941)³⁾はネコの体表の触覚投射は対側大脳皮質の Gyrus sigmoideus posterior と G. ectosylvius anterior の2つの離れた部位に在ることを報告し, 次いで Marshall *et al.* (1941)³²⁾は同じくネコの前肢足背の触刺激に対する誘発電位は対側大脳皮質の3ヶ所で記録されることを個々に発見した。その後, 体性領の部位とその拡りについてはかなりの論争があったが, Woolsey (1943¹⁵⁾, (1947)¹⁶⁾は前述の投射部位を感覚領と呼ぶことは適当でないとし, それぞれ体性領 I (somatic area I ; S_I), 体性領 II (somatic area II ; S_{II}) と呼ぶよう提唱した。Malcolm & Darian-Smith (1958)¹³⁾, Darian-Smith (1964)⁷⁾に及んで, ネコの上口唇の電気刺激により対側及び同側の Sulcus ansatus lateralis の近傍に体性領 III (somatic area III ; S_{III}) の存在を暗示する所見を得た。その後, Darian-Smith (1964⁷⁾, (1966)⁸⁾一派は顔面及び前肢刺激で, Landgren *et al.* (1967)¹²⁾は上顎神経で, 横田(1972)¹⁸⁾は下歯槽神経, 橈骨神経浅枝, 眼窩下神経の電気刺激で S_I, S_{II}, S_{III} の局在を明確にし, 上記 Marshall *et al.* (1941)³²⁾の成績を確認した。現在までの成績をまとめると, S_I は対側性支配のみを受け S_{II}, S_{III} はいづれも両側性支配を受けている。横田¹⁸⁾によれば, ネコの S_{III} は non-specific な性質を持ち橈骨神経浅枝や眼窩下神経刺激でも応ずるとされている。本実験の成績は原則的に S_I, S_{II} および S_{III} の支配区分に従うが, 対側・同側支配の優位性の問題であって, 明確な断定を下し難い。

また, 本実験で歯髓から S_{III} へ specific な投射が予想される成績が得られていることは特記

に価する。図9はS_{III}への投射の特異性を表わす成績であって、下顎対側臼歯(右側)の歯髄を刺激したときのみ明瞭な誘発電位が得られている。対側犬歯並びに上顎同側歯の誘発電位は殆どみられない。下顎同側犬歯の電位変動は僅かに認められ、S_{III}の同側性支配をうかがわせる。また、この成績は unitary response の実験³³⁾でも支持されている。いずれにしても、本実験ではかなり太い白金ボール電極を用いているので、皮質表面の相当広範囲の電位を拾うことになり、上記の如き成績が得られたのであろう。これを解析するには微細電極法が必要である。

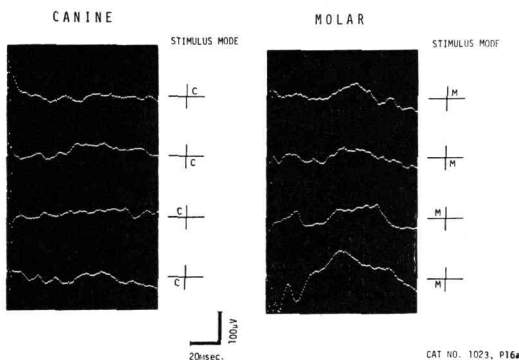


図9 S_{III}の特殊投射性

記録電極をS_{III}の上に置き、8本の歯髄を順次、同一の強さで電気刺激を行った場合に得られた誘発電位を示す。導出部位：S_{III}、時標：20msec、較正電圧：100 μ V、加算回数：50回、歯列の表現は図2と同じ。注] 対側下顎臼歯の歯髄刺激にのみ応答していることに留意。

大脳皮質の同型複原については緒言で触れたが、この想定によれば、体性領内での歯牙配列の同型複原が期待される。著者等の知る限りこの種の想定はすでにPenfield(1958)によってなされ、ヒトの上・下顎部の感覚(歯髄感覚も含め)投射は皮質上で下口唇と舌の中間部に限局した図がMcNaught and Callender(1970)³⁴⁾により紹介されている。しかし、歯列の同型複原的投射の根拠を示す動物実験は未だに報告され

ていない。おそらく、動物での歯列の同型複原を試みた実験は本論文が嚆矢であろう。また、この種の実験は誘発電位の観察にとどまらず、単位放電を指標とした大脳皮質の円柱構成³⁵⁾を基調とした観察が必要と思われる。

2つの歯髄に複合刺激を与えた場合、誘発電位に促進、または、抑制効果がみられた。歯髄性誘発電位でこの種の干渉効果を観察したのは著者等が初めてであろう。歯髄に対する侵害刺激と他の非侵害刺激間の干渉効果を研究した仕事は比較的少ないが、三叉神経複合核レベルでは歯根膜情報³⁶⁾³⁷⁾や口腔顔面領域の機械的刺激³⁸⁾、そして聴・視覚などの特殊感覚入力³⁹⁾が歯髄性入力に及ぼす干渉効果などが観測されている。同様に大脳皮質レベルでは歯髄と歯根膜入力の相互干渉についての報告⁴⁰⁾がある。他方、大脳皮質における2つの同種非侵害刺激の組合せによる干渉効果については聴覚領のneuron抑制現象⁴¹⁾⁴²⁾や、2つの視覚刺激による干渉効果⁴³⁾⁴⁴⁾⁴⁵⁾⁴⁶⁾が知られ、また、視覚領neuronの興奮性に及ぼす迷路刺激の効果⁴⁷⁾⁴⁸⁾や、18野複雑型neuronの発火に及ぼす歯髄刺激の干渉効果⁴⁹⁾もすでに報告されている。

従って、彼我の実験に用いた刺激の種(modality)に相異があるので、本実験成績と上述の成績を直接比較することは困難としても、2つの侵害刺激の干渉効果、つまり、2歯の複合刺激による干渉機構はすでに三叉神経核、または、視床などの皮質下諸構造に内蔵されている可能性はあろう。もし、その想定が正しいとすれば2歯間の侵害刺激の組合せにより誘発電位に干渉効果が起きたとしても奇異の現象と云い得ない。むしろ、その干渉機構の成立の場(皮質、視床、三叉神経核、または上・下歯神経叢)をどこに求めるかが今後の課題であろう。今までのところ、例数は少ないが、干渉効果にはその組合せにある程度の規則性がある、歯痛錯誤の発現機序と何等かの関連が予想される。従って、複合歯髄刺激による干渉効果の解明は大きな意義を有することとなるであろう。

Abstract : The evoked cortical potentials (EP) elicited by electrical stimulation of the tooth pulp were recorded in somatosensory area and localization of the pulpal projection onto the cerebral cortex was mainly investigated in 23 cats. The experiments were performed after confirming that the EP were produced exclusively by the pulpal stimulation which proved by preliminary trials of interpulpal anaesthesia and pulpectomy. The results obtained were as follows.

1) Configuration of the EP consisted of two components, the primary EP of short latency and the second EP of long latency. Amplitude and crest time of the primary EP varied proportionally with increase in stimulus intensity. 2) It was found that when the amount of pulpal afferent inputs were determined by the primary EP, the pulpal projections onto the S_I and S_{II} area were found to be dominantly contralateral while the one onto the S_{III} area was mostly ipsilateral. 3) Superficial contents and localization of the pulpal projection from each tooth were compared in the same experimental condition. The projection of mandibular pulpal afferent was more remarkable than that of maxillary and the pulpal inputs from the molar teeth were more distinguished than that of the canine. 4) When a combined stimulus was supplied to two teeth simultaneously, interactions such as 'facilitation' or 'inhibition' of the EP were observed in the same recording area.

文 献

- 1) Marshall, W. H., Woolsey, C. N. and Bard, P. : Cortical representation of tactile sensibility as indicated by cortical potentials. *Science*, 85 : 388-390, 1937.
- 2) Adrian, E. D. : Double representation of the feet in the sensory cortex of the cat. *J. Physiol.* 98 : 16-18, 1940.
- 3) Adrian, E. D. : Afferent discharges to the cerebral cortex from peripheral sense organs. *J. Physiol.* 100 : 159-191, 1941.
- 4) Bard, P. : Studies on the cortical representation of somatic sensibility. Harvey Lecture, 33 : 143-169, 1938.
- 5) Bartley, S. H. and Heinbecker, P. : Response of sensorimotor cortex to stimulation of peripheral nerve. *Amer. J. Physiol.* 121 : 21-31, 1938.
- 6) Cohen, M. J., Landgren, S., Strom, L. and Zotterman, Y. : Cortical reception of touch and taste in the cat. *Acta Physiol. Scand.* 40 (Suppl. 135) : 1-50, 1957.
- 7) Darian-Smith, I. : Cortical projections of thalamic neurones excited by mechanical stimulation of the face of the cat. *J. Physiol.* 171 : 339-360, 1964.
- 8) Darian-Smith, I., Isbister, J., Mok, H. and Yokota, T. : Somatic sensory cortical projection areas excited by tactile stimulation of the cat ; A triple representation. *J. Physiol.* 182 : 671-689, 1966.
- 9) Dawson, G. D. : Cerebral responses to electrical stimulation of peripheral nerve in man. *J. Neurosurg. Psychiat.* 10 : 137-140, 1947.
- 10) Forbes, A. and Morison, R. B. : Cortical response to sensory stimulation under deep barbiturate narcosis. *J. Neurophysiol.* 2 : 112-138, 1939.
- 11) Hirsch, J. F., Anderson, R. E., Calvet, J. and Scherrer, J. : Short and long latency cortical response to somesthetic stimulation in the cat. *Exp. Neurol.* 4 : 562-583, 1961.
- 12) Landgren, S., Silfvenius, H. and Wolsk, D. : Vestibular, cochlear and trigeminal projections to the cortex in the anterior suprasylvian sulcus of the cat. *J. Physiol.* 191 : 561-573, 1967.
- 13) Malcolm, J. L. and Darian-Smith, I. : Convergence within the pathways to cat's somatic sensory cortex activated by mechanical stimulation of the skin. *J. Physiol.* 144 : 257-270, 1958.
- 14) Penfield, W. and Boldrey, E. : Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. *Brain*, 60 : 389-443, 1937.
- 15) Woolsey, C. N. : "Second" somatic receiving areas in the cerebral cortex of cat, dog and monkey. *Fed Proc.* 2 : 55, 1943.
- 16) Woolsey, C. N. : Patterns of sensory representation in the cerebral cortex. *Fed Proc.* 6 : 437-441, 1947.
- 17) Woolsey, C. N., Marshall, W. H. and Bard, P. : Representation of cutaneous, tactile sensibility in the cerebral cortex of the monkey as indicated by evoked potentials. *Bull. Johns Hopkins Hosp.* 70 : 309-441, 1942.
- 18) 横田敏勝 : 三叉神経の電気生理学的研究 : 第1報, 下歯槽神経の大脳皮質投射, 歯基礎誌, 14 : 316-322, 1972.
- 19) Werner, G. and Whitsel, B. L. : Topology of the body representation in somatosensory area I of primates. *J. Neurophysiol.* 31 : 856-868, 1968.
- 20) Werner, G. : The topology of the body representation in the somatic afferent pathway. The neuroscience second study program (edited by F. O. Schmitt), Rockefeller University Press, New York, pp 605-629, 1971.

- 21) Whitsel, B. L., Dryer, D. A. and Roppolo, J. R. : Determinants of body representation in postcentral gyrus of macaques. *J. Neurophysiol.* 34 : 1018-1034, 1971.
- 22) Mountcastle, V. B. : Modality and topographic properties of single neuron of cats somatic sensory cortex. *J. Physiol.* 20 : 408-434, 1957.
- 23) Mountcastle, V. B., Davies, P. W. and Berman, A. L. : Response properties of cats somatic sensory cortex to peripheral stimuli. *J. Neurophysiol.* 20 : 374-407, 1957.
- 24) 加藤宏司, 中浜博 : 誘発電位, 生理学研究法, 須田勇, 畠山一平, 南雲仁一, 印東太郎編集, 1版, 医学書院, 601-609ページ, 1975.
- 25) Bernick, S. and Levy, B. M. : Studies on the biology of the periodontum of marmoset; I. Development of bifurcation in multirrooted teeth in marmosets (*Callithrix jacchus*). *J. dent. Res.* 57 : 59-64, 1968.
- 26) Kizior, J. E., Cuozzo, J. W. and Bowman, D. C. : Functional and histologic assessment of the sensory innervation of the periodontal ligament of the cat. *J. dent. Res.* 47 : 59-64, 1968.
- 27) Andersson, S. A., Keller, O. and Vyklicky, L. : Cortical activity evoked from tooth pulp afferents. *Brain Res.* 50 : 473-475, 1973.
- 28) Melzack, R. and Haugen, G. P. : Responses evoked at the cortex by tooth stimulation. *Amer. J. Physiol.* 190 : 570-574, 1957.
- 29) Van-Hassel, H. J., Biedenbach, M. A. and Brown, A. C. : Cortical activity evoked by tooth pulp stimulation in rhesus monkey. *Arch. oral. Biol.* 17 : 1059-1066, 1972.
- 30) Vyklicky, L., Keller, O., Brožek, G. and Butkhuzi, S. M. : Cortical potentials evoked by stimulation of tooth pulp afferent in the cat. *Brain Res.* 41 : 211-213, 1972.
- 31) Brookhart, J. M., Livingston, W. K., and Haugen, F. P. : Functional characteristics of afferent fibers from tooth pulp of cat. *J. Neurophysiol.*, 16 : 634-642, 1953.
- 32) Marshall, W. H., Woolsey, C. N. and Bard, P. : Observation on cortical somatic sensory mechanisms of cat and monkey. *J. Neurophysiol.* 4 : 1-24, 1941.
- 33) 鈴木隆, 八幡文和, 平孝清, 松本範雄, 杉山ちか子 : 歯痛の皮質投射の研究, 日本生理誌, 38 : 145-146, 1976.
- 34) McNaught, A. B., and Callander, R. : Illustrated physiology, Second ed., Livingston, Edinburgh and London. p. 250, 1970.
- 35) Powell, T. P. S., and Mountcastle, V. B. : Some aspects of the functional organization of the cortex of the postcentral gyrus of the monkey : A correlation of findings obtained in single unit analysis with cytoarchitecture. *Bull. Johns Hopkins Hosp.*, 105 : 133-162, 1959.
- 36) Mahan, P. E. and Anderson, K. V. : Interaction of tooth pulp and periodontal ligament receptors in the dog and monkey. *Exp. Neurol.* 33 : 441-443, 1971.
- 37) Anderson, K. V. and Mahan, P. E. : Interaction of tooth pulp and periodontal ligament receptors in a jaw depression reflex. *Exp. Neurol.* 32 : 295-302, 1971.
- 38) Young, R. F. and Nord, S. G. : Experimental modulation of medullary dental pulp units by mechanical stimulation of oro facial fields. *Exp. Neurol.* 49 : 813-821, 1976.
- 39) Tamari, J. W., Naccache, A., To'mey, G. F. and Jabbur, S. J. : Auditory and visual influences on the trigeminal nuclear activity evoked by tooth pulp stimulation in the cat. *Exp. Neurol.* 45 : 663-666, 1974.
- 40) Savara, B. S., Fields, R. W., Tacke, R. B., and Tsui, R. S. H. : Modulation of cortical inputs from tooth pulp by electrical stimulation of adjacent gingiva. *Oral. Surg.* 37 : 17-25, 1974.
- 41) Katsuki, Y., Watanabe, T., and Suga, N. : Interaction of auditory neurons in response to two sound stimulation in cat. *J. Neurophysiol.* 22 : 603-623, 1959.
- 42) Békésy, G. V. : Neural funneling along the skin and between the inner and outer hair cells of the cochlea. *J. Acoust. Soc. Am.* 31 : 1236-1249, 1959.
- 43) Nunokawa, S. : Effects of background illumination on the receptive field organization of single cortical cells in area 18 of the immobilized cat. *Jap. J. Physiol.* 23 : 13-23, 1973.
- 44) Phelps, R. W. : The effect of spatial and temporal interactions on the responses of single units in the cat's visual cortex. *Intern. J. Neurosci.* 6 : 97-107, 1973.
- 45) Phelps, R. W. : Effects of interactions of two moving lines on single unit responses in the cat's visual cortex. *Vision Res.* 14 : 1371-1275, 1974.
- 46) Thomas, J. P. and Shimamura, K. K. : Inhibitory interaction between visual pathways tuned to different orientations. *Vision Res.* 15 : 1373-1380, 1975.
- 47) Horn, G., Stechler, G. and Hill, R. H. : Receptive field of units in visual cortex of the cat in presence and absence of body tilt. *Exp. Brain Res.* 15 : 113-132, 1972.
- 48) Takemori, S. and Cohen, B. : Visual sup-

pression of vestibular nystagmus in rhesus monkeys. *Brain Res.* 72 : 203-212, 1974.
49) 鈴木隆, 平孝清, 八幡文和 : 視覚領単一ニュー

ロンの興奮性におよぼす下歯槽神経刺激の影響,
日本生理誌, 37 : 279, 1976.