原	著
---	---

ネコ犬歯歯髄化学刺激における温度の影響

吉 野 英 明

東京医科歯科大学歯学部第3 歯科保存学教室

(指導：鈴木賢策名誉教授，砂田今男教授)

東北大学第1 歯科保存学教室

(指導：堀内 博教授)

(1979年4月15日 受付)

The Effect of Temperature on the Chemically Induced Responses of the Pulpal Nerve in Cats

Hideaki Yoshino

Department of Endodontics, Faculty of Dentistry,

Tokyo Medical and Dental University

(Former Director: Emeritus Prof. Kensaku Suzuki Current Director: Imao Sunada)

Department of Endodontics and Periodontics,

Tohoku University, School of Dentistry

(Director: Hiroshi Horiuchi)

要旨：ネコの犬歯を化学的に刺激したときに生ずる歯髄反応が温度変化によりいかなる影響を受けるかについて検索した。記録方法は、Horiuchi・Matthewsの方法に従って行った。

化学刺激用試液としては、0.25, 0.5, 0.75 および 1.0MNaCl 溶液を用い、歯と試液の温度を10, 20, 30 および 40°C に保ち、歯髄から発生するインパルス数を、20秒間ごとに15回、計5分間計測した。

発生するインパルスの5分間の総数は、いずれの濃度においても温度上昇につれ、その数を増した。経時的变化をみると、温度が高くなるほどインパルスの放電パターンは立ち上がりが急峻となり、絶対値が大となり、変動の幅が小さくなった。

I. 緒 言

歯科を訪れる患者の大部分の主訴は歯の痛みであり、臨床に携わる歯科医にとっても患者を治療する際に痛みを取り除くことが重要な問題の一つとなっている。しかし、別の観点より考えると、歯痛は象牙質および歯髄に何らかの異常があることを知らせるものであり、歯の状態の推定に有力な手掛りとなりうるものである。

歯の痛みについての研究は、今日まで多くの人々によりさまざまな角度より検討されかつ報告されている。Anderson et al.¹⁻⁶⁾, Naylor⁷⁾は、ヒトの歯を用い刺激に対する反応を被験者の主観的な反応により調べ、Brännström⁸⁻¹⁰⁾, Kramer¹¹⁾はヒトの歯を用い刺激に対する被験者の反応と被験歯の組織学的検索とを対比させた。一方、動物を用い電気生理学的方法による研究も、Pfaffmann¹²⁾が歯髄神経の電気的活動を導出して以来、ネコを

用いたものでは Scott・Tempel¹³⁾, Scott・Stewart¹⁴⁾, Horiuchi・Matthews^{15, 16)}, 矢崎・堀内¹⁷⁾の研究などがあり、イヌを用いたものには Funakoshi・Zotterman¹⁸⁾, Matthews¹⁹⁾の報告などがある。

Horiuchi・Matthews¹⁶⁾, 中島²⁰⁾は、ネコの犬歯に化学刺激を加え、その反応を電気生理学的に調べている。Horiuchi らの実験では、刺激する溶液の温度および歯の温度は常に一定に保たれており、温度の因子が実験条件より除外されていた。しかし、鈴木²¹⁾は、切削時に工具と歯質とが摩擦することで急激に温度が上昇し、その温度が持続すると痛みが起り歯髄を傷害すると述べている。臨床においてもそのようなことを経験することが多々ある。したがって、温度の変化により歯の感受性がどのように変化するかを検討することは臨床にその意義が大きい。そこで、本実験では温度の因子に着目し、この因子を実験条件として積極的にとり入れ化学刺激を行いネコの犬歯歯髄より発生するインパルス数の変化について検索した。

本実験は、Horiuchi・Matthews¹⁵⁾の実験方法を用い、化学刺激としては NaCl 溶液を歯に作用させ、生ずる神経インパルス数や放電パターンが歯の温度変化によりどのような影響を受けるかを電気生理学的に検討した。

II. 材料と方法

下顎永久犬歯を有する体重 1.5～3 kg のネコを用いた。麻酔には Pentobarbital sodium を用い、初回量 40 mg/kg を腹腔内に、以後は必要に応じ伏在静脈に確保した静脈路に少量を投与した。気道確保のため気管を切開し、新生児用気管カニューレを装着した。頭部を固定するため前頭洞に穿孔し金属製支持棒を挿入し、即時重合レジンで固め、マグネティック・クランプで鉄製実験台上にとめた。次いで上下顎臼歯部にアンダーカットをつけ即時重合レジンを用い上下顎間を固定した。記録用電極は Horiuchi・Matthews¹⁵⁾の方法に従い、アクリル・キャップの先端と歯頸部とに Ag-

AgCl 電極を装着した。歯髄神経よりのインパルスは、前置増幅器 (103型, Keithley 社製) をへて、オシロスコープ (502A型, Tektronix 社製) 上に現し、同時にその数をデジタルカウンタ (ユニバーサル回転計 Type 2891, 横河電機社製) にて20秒ごとの発数を15回、計5分間計測した。

歯の温度は 10, 20, 30 および 40℃ の4つの温度に保って実験を行った。歯を前記の温度に保つために、恒温槽 (Thermobox LB-220, サーモニクス社製) よりポンプで温水あるいは冷水をビニール・チューブを用いて歯の周囲に還流させた。その際熱の伝導が効果的にゆくよう歯面に接する部分は銀製のパイプを用い、これを電極の一部をなすアクリルを削り落して露出させた被験歯面に当てた (図1)。温度の計測には、熱電対 (直径0.1 mm C-A, ハナワ熱電社製) と温度計 (デジタルマルチ温度計 Type 2809, 横河電機社製) とを用いた。

化学刺激には、0.25, 0.5, 0.75 および 1.0 M NaCl 溶液を用いた。刺激を加える際、刺激として用いる NaCl 溶液と歯の温度差が刺激とならないように、あらかじめ NaCl 溶液を歯の温度と同じにしておいた。

III. 結 果

先端電極部分の象牙質を削除し、象牙質が薄くなると、切削刺激による歯髄神経の活動電位が得られた。窩洞に Locke 氏液を満たし歯髄より得られるインパルス数が十分に少なくなってから、あらかじめ歯と同温にしておいた NaCl 溶液を作らせ、歯髄より生ずるインパルス数を5分間計測した。

1. 歯髄神経の放電頻度に対する温度の影響

0.25 M NaCl 溶液を歯に作用させたときに、10, 20, 30 および 40℃ の各温度において得られたインパルスの5分間の総数を測定し、また 0.5, 0.75 および 1.0 M NaCl 溶液についても同様にを行い、それぞれについて検討した (図2)。実験した範囲では、いずれの濃度においても温度を上昇

図1 実験の概要図

させると、得られるインパルス数は増加した。各温度におけるインパルス数について検討すると、40℃における0.5 Mと0.75 M NaCl溶液による数値が逆転している場合を除いて、他はいずれも高濃度になるほどインパルス数は多くなっていた。0.25 M NaCl溶液で温度を変えたときに得られるインパルス数の変化は、温度の上昇につれてグラフ上で直線的に増加していた。

1.0 M NaCl溶液を用いて、50℃まで温度を上昇させた場合のインパルス数の変化を図3に示してある。10, 20, 30および40℃の範囲では温度が上昇するにつれてインパルス数は増加していた。しかし、50℃では極端に減少し、インパルス数の最大値は40℃で得られた。

2. インパルス数の経時的变化

1) 同一濃度での10, 20, 30および40℃におけるインパルス数の経時的变化

0.25 M NaCl溶液では、インパルス数は0から30発の範囲にあり、各放電パターンはほぼ重なり合っていた(図4)。

0.5 M NaCl溶液では、それぞれの放電パターンは温度の上昇に伴って立ち上がりが急になり、その後の変動率は小さかった(図5)。

0.75 M NaCl溶液では、0.5 M NaCl溶液と同様に温度が高くなるにつれてパターンの立ち上がりが鋭くなり変動率は少なくなり、また10℃と20, 30, 40℃とを比較すると明らかにパターンに差がみられた(図6)。

図2 0.25, 0.5, 0.75 および 1.0M NaCl 溶液にて生ずるインパルス数の温度による変化

図3 1.0 M NaCl 溶液にて生ずるインパルス数の温度による変化

図4 0.25M NaCl 溶液にて生ずるインパルス数の経時的変化

図5 0.5M NaCl 溶液にて生ずるインパルス数の経時的変化

図6 0.75M NaCl 溶液にて生ずるインパルス数の経時的变化

図7 1.0M NaCl 溶液にて生ずるインパルス数の経時的变化

1.0M NaCl 溶液では、各温度で得られる放電パターンの中に重なり合う個所がほとんどなくなり、20、30および40℃のパターンは比較的一定の値を保ち平坦であるのに対し、10℃ではインパルス数の変化率は大きく動揺した(図7)。

2) 同一温度の0.5、0.75および1.0M NaCl 溶液にて生ずるインパルス数の経時的变化

10℃では、濃度による差異は不明瞭でありかつ重なり合う個所が多く、変動率も大であった(図8)。

20℃では、測定開始後3分間は重なり合う個所が少ないが、それ以後はかなり重なり合っていた(図9)。

30℃では、20℃の場合と同様に測定開始後3分を境にして、それ以前は重なり合う個所が少なくそれ以後は逆に多かった。特に、開始後2分間は重なり合う個所が少なかった。10℃の場合と比較して、変動率が小さくなった(図10)。

40℃では、他の温度の場合に比して変動率が

図8 10℃の0.5、0.75および1.0M NaCl 溶液にて生ずるインパルス数の経時的变化

なり小さくなり、測定開始後20秒間では濃度による差異がみられ、それ以後はあまり著明ではない(図11)。

図9 20°Cの0.5, 0.75および1.0M NaCl 溶液にて生ずるインパルス数の経時的変化

図11 40°Cの0.5, 0.75および1.0M NaCl 溶液にて生ずるインパルス数の経時的変化

図10 30°Cの0.5, 0.75および1.0M NaCl 溶液にて生ずるインパルス数の経時的変化

図12 10, 20, 30 および 40°C において等しい浸透圧となるように濃度を調整した NaCl 溶液にて生ずるインパルス数の温度による変化

3. 発生するインパルス数に与える浸透圧の影響

温度が上昇するにつれ増大すると考えられる浸透圧が、発生するインパルス数に温度の因子よりも大きく影響を及ぼしているかどうかについて検討を行った。10, 20 および 40°C において 30°C,

1.0 M NaCl 溶液と等しい浸透圧となるように濃度を調整した NaCl 溶液を歯に作用させた。その結果、温度が上昇するにつれインパルス数が増大することが判明した(図12)。

IV. 考 察

Horiuchi et al.²²⁾ は、0.5 M NaCl 溶液を用い Q_{10} 値を求め温度とインパルス数との関係を報告している。本実験では、さらに詳細に検討するため、0.25, 0.5, 0.75 および 1.0 M NaCl 溶液を刺激として用い、被験歯の温度を10, 20, 30および40℃として実験を行った。その結果、いずれの刺激においても温度の上昇に伴い、インパルス数が増加していた。

温度の上昇に伴いインパルス数が増加するメカニズムとしては、大きく分けて3つの因子が考えられよう。

第1の因子は、試液の浸透圧および局所に入る拡散速度などが温度により変化する可能性である。

浸透圧および拡散速度は絶対温度に比例する²³⁾とされている。したがって、10℃より20℃へ変化させた場合を例にとれば、283/273より293/273への変化すなわち約3.5%の増大とみなすことができる。ところが、1.0 M NaCl 溶液を例にとると、インパルス数は680発より10,000発へ変化していた。また図12より浸透圧を10, 20, 30および40℃において等しくなるように調整した NaCl 溶液を作用させたとき、温度が上昇するにつれてインパルス数は増大していた。したがって、浸透圧、拡散速度の影響を無視することはできないが、この因子だけではインパルスが増加するメカニズムを説明することはできない。

第2の因子は、神経の活動電位に対する温度の影響である。Davson²⁴⁾ によれば、イカの巨大神経を用いた Huxley の実験において、神経の温度を28.9℃から6.3℃に低下させると、スパイクの高さは増大し、伝導速度は遅くなり、スパイクの上昇率は低下するとしており、Hodgkin-Huxley の式において膜の透過性の変化率を温度変化に合

わせて変えた時に得られる理論値とこれらの実測値とが良く一致し、理論的には33℃に伝導速度の至適温度が存在することなどが述べられている。また Hodgkin・Katz²⁵⁾ は、同じくイカの巨大神経を用い、神経の電氣的活動に対する温度の影響について実験を行い、35℃以上ではスパイクの高さが非常に小さくなり逆に30℃以下では急に増大すること、および温度が上昇するにつれて伝導速度が増加することなどを報告している。

温血動物であるネコの歯髄神経においては、その数値に若干相異があるとしても同様のメカニズムが当てはまるものと思われる。すなわち温度の変化により前述の現象が神経の活動電位に生じ、発生するインパルス数が変化すると考えられる。

第3の因子は、温度による歯髄内血流の変化とそれに伴う代謝活動の変動の可能性である。

Orban²⁶⁾ は、歯髄内の細動脈は周囲を筋肉によって被覆されており、その筋肉は細い分岐部まで存在していると述べている。Seltzerら²⁷⁾ は、細動脈が平滑筋で被覆されていることを示唆し、さらに歯髄内血流量を調整する因子の一つとして動静脈壁の平滑筋を挙げている。この細動脈壁の平滑筋のトーンスは温度上昇で弛緩し、血流量が増大することにより局所の酸素分圧が上昇し、代謝産物の移動などの結果インパルス頻度の増大をきたす可能性も否定できない。

鈴木は²¹⁾、歯の温度が45℃以上になると熱麻痺が起こり43℃付近までを耐熱限界とすると述べている。Ahlberg²⁸⁾ は、ネコの歯髄を46℃まで加熱したとき歯髄より反応が消失し露髄させても出血しなかったと報告している。1.0 M NaCl 溶液で刺激した際に50℃で得られる反応が極端に減少していたのは、生理的な温度範囲を越えたために、前述のように歯髄が熱による傷害を被ったためと思われる。

Kimura²⁹⁾, Nagaki et al.³⁰⁾ および Yamashita^{31, 32)} は、味覚の実験において温度の効果を調べ至適温度が存在することを報告している。Horiuchi et al.²²⁾ は、 Q_{10} 値よりネコの歯髄神経の興奮にも至適温度範囲が存在することを示唆している。1.0

M NaCl 溶液での 10, 20, 30, 40 および 50℃ での反応を考察すると, 至適温度の存在を肯定することが可能であり, 40℃ 前後に存在するものと思われる。味覚では Yamashita³²⁾ がネコの舌で実験を行い, その至適温度が舌温近辺にあると報告している。しかし, 侵害受容性の機能をもつ歯髄神経においては, 生理的な歯髄温よりも至適温度はより高い所にある可能性がある。

インパルス数の経時変化については, 図 4 の 0.25 M NaCl 溶液の場合重なり合う個所が多く, 刺激に対して生ずるインパルス数は少なくかつ温度を変化させてもインパルス数に顕著な差がみられなかった。これは 0.25 M NaCl 溶液が生理的食塩水の濃度 0.16 M に近いために, 刺激効果が小さいためと考えられる。しかし, 5 分間のインパルス数の合計値でみれば, 図 2 のごとく温度の上昇につれ, ほぼ直線的にインパルス数が増加していることは興味深い。

図 5, 6 および 7 のように, 0.5, 0.75 および 1.0 M NaCl 溶液の場合には, 濃度が高まるにつれて図上で重なり合う個所が少なくなり, しかも温度の上昇につれ刺激溶液滴下後の 1 回目の計測点におけるインパルス数に急激な増加がみられ, 単位時間の発数の変動率は小さくなった。

温度の因子を固定し, 同温度での濃度の違いにより発生するインパルス数の経時変化についてみると, 10℃ では濃度の影響があまり著明ではなく, 20, 30 および 40℃ でも経時的にみた場合には濃度の影響はそれほど顕著であるとは思えない。

この範囲の刺激条件では, 濃度上昇でスパイク数が増加するので歯髄神経が最大応答周波数で活動しているとは考えられない。しかし, 刺激が強まるにつれ単位時間当たりの最大インパルス数の増加分は少なくなり, しかも経時的にみた変化率も小さくなるので, 応答の数を規定するものが神経の回復時間すなわち反復興奮する頻度に, かなり依存しているのではないと思われる。

至適温度と放電パターンの経時変化の関連について考察を加えると, 20, 30 および 40℃ は至適温度に近いために放電頻度が大きくその変化率は

小さい。10℃ では至適温度から離れるために得られる神経の放電頻度は小さく変化率は大きい。

Edwall・Olgart³³⁾ は, ヒトの歯を刺激し発生するインパルス数と痛覚の程度との間に相関があると報告している。河村ら³⁴⁾ は, ヒトの歯の表面の平均温度が 31℃ より 34℃ の間であると報告しているのも, もしネコで得られたデータをヒトに当てはめることができるならば, 歯の温度を 10℃ まで低下させるとインパルス数は 10 分の 1 あるいはそれ以下に低下し, 歯に加えられる刺激が一定であるとすれば, 温度の低下により痛みの程度をやわらげあるいは痛み閾値を高める可能性のあることを示すものであろう。

歯科治療を行う際の除痛法としては, 注水下での高速切削・麻酔剤の使用・寒冷麻酔・電気麻酔の応用などがある。これらのうちで, 注水下で行う切削の際には, バーの目づまり防止, 摩擦熱の除去などの他に歯髄温度低下による除痛効果も関与している可能性もある。また今回の実験結果は, 寒冷麻酔の有効性の裏づけの 1 つともなりうると思われる。

鈴木³⁵⁾ は, 漿液性歯髄炎では冷却により疼痛が増強し, 化膿性歯髄炎では加温により疼痛が増大し冷却により軽減すると述べているし, Grossman³⁶⁾ もまた急性歯髄炎の際に急激な温度変化が生ずると痛みが発現すると報告している。しかし, 実際にはこのような現象は有効刺激が歯の温度との温度差によって生ずるもの, つまり温度の変化が刺激となることは, すでに Mumford³⁷⁾ が指摘しているところである。

今回の実験結果より考えて, 十分にゆっくりと歯の温度を低下させ温度変化による刺激効果を見逃さずに努めるならば, 種々の急性歯髄炎による自発痛を軽減させる可能性があるに相違ない。

V. 結 論

1. 化学刺激として NaCl 溶液を用い, 歯および刺激溶液の温度差をなくし, 被験歯の温度を上昇させると歯髄より生ずる神経インパルスの数は

増大した。

2. 10, 20, 30, 40, および 50℃ の 5 点を比較したとき歯髄神経が興奮する至適温度は 40℃ であった。

3. 同一濃度の刺激で発生するインパルス数の経時的変化については、温度が高くなるほど、インパルスの放電パターンは、立ち上がりが急峻となり、絶対値が大となり、変動の幅が小さくなった。

4. 同一温度において、それぞれの濃度で刺激した際に生ずるインパルス数の経時的変化についても、3 と同様のことが生じた。

5. 発生するインパルスは、温度上昇による浸透圧の変化よりも温度そのものの影響を大きくうけていた。

謝 辞

稿を終えるにあたり、終始ご指導とご校閲を賜った鈴木賢策名誉教授ならびに砂田今男教授に対し謹んで感謝の言を表します。

また終始懇切丁寧なご教授、ご校閲をいただきました東北大学第 1 歯科保存学教室堀内博教授に深く謝意を表します。また、実験に際し、ご援助、ご協力をいただきました第 3 歯科保存学教室矢崎国博講師をはじめ教室員各位に感謝いたします。

本論文の要旨は、1978 年 5 月 20 日、第 68 回日本歯科保存学会において発表した。

文 献

- 1) Anderson, D. J., Curwen, M. P. and Howard, L. V.: The Sensitivity of Human Dentin. *J. Dent. Res.*, 37: 669-677, 1958.
- 2) Anderson, D. J. and Naylor, M. N.: Chemical Excitants of Pain in Human Dentine and Dental Pulp. *Archs. Oral Biol.*, 7: 413-415, 1962.
- 3) Anderson, D. J. and Ronning, G. A.: Osmotic Excitants of Pain in Human Dentine. *Archs. Oral Biol.*, 17: 513-523, 1962.
- 4) Anderson, D. J. and Matthews, B.: An Investigation into the Reputed Desensitizing Effect of Applying Silver Nitrate and Strontium Chloride to Human Dentine. *Archs. Oral Biol.*, 11: 1129-1135, 1966.
- 5) Anderson, D. J., Matthews, B. and Shelton, L. E.: Variations in the Sensitivity to Osmotic Stimulation of Human Dentine. *Archs. Oral Biol.*, 12: 43-47, 1967.
- 6) Anderson, D. J. and Matthews, B.: Osmotic Stimulation of Human Dentine and the Distribution of Dental Pain Thresholds. *Archs. Oral Biol.*, 12: 417-426, 1967.
- 7) Naylor, M. N.: Studies on Sensation to Cold Stimulation in Human Teeth. *Brit. Dent. J.*, 117: 482-486, 1964.
- 8) Brännström, M.: The Elicitation of Pain in Human Dentine and Pulp by Chemical Stimuli. *Archs. Oral Biol.*, 7: 59-62, 1962.
- 9) Brännström, M. and Astrom, A.: A Study on the Mechanism of Pain Elicited from the Dentin. *J. Dent. Res.*, 43: 619-625, 1964.
- 10) Brännström, M.: Sensitivity of Dentine. *Oral Surg.*, 21: 517-526, 1966.
- 11) Kramer, I.: The Relationship between Dentine Sensitivity and Movements in the Contents of the Dentinal Tubules. *Brit. Dent. J.*, 98: 391-392, 1955.
- 12) Pfaffmann, C.: Afferent Impulses from the teeth due to Pressure and Noxious Stimulation. *J. Physiol.*, 97: 207-219, 1939.
- 13) Scott, D., Jr. and Tempel, T. R.: Neurophysiological Response of Single Receptor Units in the Tooth of the Cat. *J. Dent. Res.*, 44: 20-27, 1967.
- 14) Scott, D., Jr. and Stewart, G. G.: Excitation of the Dentinal Receptor of the Cat by Heat and Chemical Agents. *Oral Surg.*, 20: 784-794, 1965.
- 15) Horiuchi, H. and Matthews, B.: Evidence on the Origin of Impulses Recorded from Dentine in the Cat. *J. Physiol.*, 243: 797-829, 1974.
- 16) Horiuchi, H. and Matthews, B.: Responses of Intradental Nerves to Chemical and Osmotic Stimulation of Dentine in the Cat. *Pain*, 2: 49-59, 1976.
- 17) 矢崎国博, 堀内 博: 象牙質に加えられた機械的刺激に応ずる歯髄神経の応答と其れに対する電気緊張の効果. *日歯保誌*, 19: 345-349, 1976.
- 18) Funakoshi, M. and Zotterman, Y.: A Study in the Excitation of Dentine Evoked by Chemical Means. *Sensory Mechanisms in Dentine*, edited by Anderson, D. J., Oxford, 1963, Pergamon, pp. 47-59.
- 19) Matthews, B.: Responses of Intradental Nerve to Electrical and Thermal Stimulation of Teeth in Dogs. *J. Physiol.*, 264: 641-664, 1977.

- 20) 中島捷行：発痛物質のネコの歯髄神経に対する効果。日歯保誌, 16: 235-247, 1973.
- 21) 鈴木賢策：明解歯内療法学。京都, 1977, 永末書店, 53ページ。
- 22) Horiuchi, H., Yasaki, K., Hanada, T. and Yoshino, H.: Temporal Pattern of Pulpal Nerve Impulses Elicited by NaCl Solutions. Jaw Movement and Jaw Position, edited by Kubota, K., Nakamura, Y. and G-H Schumacher, Berlin, 1979, VEB Verlag Volk und Gesundheit, in press.
- 23) Moore, W. J.: 藤代亮一訳, 物理化学。第4版, 東京, 1974, 東京化学同人, 256, 445ページ。
- 24) Davson, H.: A Textbook of General Physiology. 4th ed., London, 1970, J. & A. Churchill, pp. 1089-1090.
- 25) Hodgkin, A. L. and Katz, B.: The Effect of Temperature on the Electrical Activity of the Giant Axon of the Squid. J. Physiol., 109: pp. 240-249, 1949.
- 26) Orban, B. J.: Orban's Oral Histology and Embryology. 7th ed., edited by Sicher, H. and Bhaskar, S. N., Saint Louis, 1972, The C. V. Mosby Company, p. 149.
- 27) Seltzer, S. and Bender, I. B.: The Dental Pulp. 2nd ed., Philadelphia, 1975, J. B. Lippincott Company, pp. 99-105.
- 28) Ahlberg, K. F.: Influence of Local Noxious Heat Stimulation on Sensory Nerve Activity in the Feline Dental Pulp. Acta physiol. scand., 103: 71-80, 1978.
- 29) Kimura, K.: Effects of Temperature on the Response of Chemoreceptors in Frog Tongue. Kumamoto Medical J., 15: 73-82, 1962.
- 30) Nagaki, J., Yamashita, S. and Sato, M.: Neural Response of Cat to Taste Stimuli Varying Temperatures. Jap. J. Physiol., 14: 67-89, 1964.
- 31) Yamashita, S.: Chemoreceptor Response in Frog, as Modified by Temperature Change. Jap. J. Physiol., 14: 488-504, 1964.
- 32) Yamashita, S., Yamada, K. and Sato, M.: The Effect of Temperature on Neural Taste Response of Cats. Jap. J. Physiol., 14: 505-514, 1964.
- 33) Edwall, L. and Olgart, L.: A New Technique for Recording of Intradental Sensory Nerve in Man. Pain, 3: 121-125, 1977.
- 34) 河村洋二郎：口腔生理学。京都, 1966, 永末書店, 34ページ。
- 35) 鈴木賢策：最新歯内療法アトラス。東京, 1972, 医歯薬出版, 58ページ。
- 36) Grossman, L. I.: Endodontic Practice. 8th ed., Philadelphia, 1974, Lea & Febiger, pp. 42-51.
- 37) Mumford, J. M.: 河村洋二郎, 笠原泰夫, 森本俊文訳, 歯の痛み。東京, 1974, 医歯薬出版, 114-117ページ。