

第23卷／第2号

平成16年12月
ISSN 0910-9722

東日本歯学雑誌

HIGASHI NIPPON DENTAL JOURNAL

東日本歯誌

第23卷／第2号
pp. 153-238

平成16年12月

東日本歯学会

Higashi Nippon Dental Society

東日本歯学会役員

会 長 新 家 昇
専務理事 矢 嶋 俊彦
常任理事 斎 藤 隆史・千葉 逸朗 (庶務担当)
越 智 守生・国 永 史朗 (会計担当)
和 泉 博之・田 隈 泰信 (編集担当)
溝 口 到・越 野 寿 (企画担当)
監 事 武 田 正子・小 野 正利

Editorial Board

Editor-in-Chief : Hiroshi IZUMI

Members : Morio OCHI, Takashi SAITOU, Takanori SHIBATA,
Taishin TAKUMA, Yosuke TOJYO, Itaru MIZOGUCHI

Higashi Nippon Dental Society

President : Noboru SHINYA

Vice President : Toshihiko YAJIMA

Auditors : Masako TAKEDA, Masatoshi ONO

Directors : Hiroshi IZUMI, Morio OCHI, Shiro KUNINAGA,
Hisashi KOSHINO, Takashi SAITOU, Taishin TAKUMA,
Itsuo CHIBA, Itaru MIZOGUCHI

Address of Office

c/o Health Sciences University of Hokkaido, Tobetsu-cho Ishikari-gun, Hokkaido,
061-0293, Japan

東日本歯学雑誌
第23巻 第2号 平成16年12月
目 次

[総 説]

- 1 顔面口腔領域での血管運動神経
和泉 博之 (153)

[原 著]

- 23 Development of a safe and quick method for removal of intermaxillary fixation with superelastic Ni-Ti wire
Masaru KUDO, Takuro KAWAI, Atsue YAMAZAKI, Shigeru UGA,
Hanako OHKE, Masahiro KOKUBU, Itaru MIZOGUCHI, Noboru SHINYA. (175)
- 31 Discomfort during dental local anesthetic injections correlated to pressure at the start of injection
Masaru KUDO, Hanako OHKE, Takuro KAWAI, Michiko TAKAGAKI,
Kazuhiro KATAGIRI, Chitose TATEYAMA, Masahiro KOKUBU, Noboru SHINYA ... (183)
- 37 The electrical change on the papilla parotidea by tongue stimulation and by injection of collected saliva
Koshiro INOMATA, Hisayoshi ISHII, Isao OOTA and Masashi KURAHASHI (189)
- 45 アパタイトーブラストーインプラントの実験的研究
松原秀樹, 廣瀬由紀人, 賀来 亨, 越智守生, 坂口邦彦 (197)
- 59 中国(北京)における抜去上顎第一大臼歯のエナメル質表層フッ素濃度
八幡祥子, 広瀬弥奈, 松本大輔, 五十嵐清治 (211)
- 71 矯正用金属製装置の異種金属接触腐食挙動に関する研究
—生理食塩水中における腐食電位の測定—
湯浅壽大, 遠藤一彦, 飯嶋雅弘, 米倉康之, 大野弘機, 溝口 到 (223)

HIGASHI NIPPON DENTAL JOURNAL
VOL. 23, NO. 2, DECEMBER, 2004
CONTENTS

REVIEW

- 1 **Vasomotor nerves in orofacial areas**
Hiroshi IZUMI (153)

ORIDINAL REPORTS

- 23 **Development of a safe and quick method for removal of intermaxillary fixation with superelastic Ni-Ti wire**
Masaru KUDO, Takuro KAWAI, Atsue YAMAZAKI, Shigeru UGA,
Hanako OHKE, Masahiro KOKUBU, Itaru MIZOGUCHI¹⁾, Noboru SHINYA (175)
- 31 **Discomfort during dental local anesthetic injections correlated to pressure at the start of injection**
Masaru KUDO, Hanako OHKE, Takuro KAWAI, Michiko TAKAGAKI,
Kazuhiro KATAGIRI, Chitose TATEYAMA, Masahiro KOKUBU, Noboru SHINYA ... (183)
- 37 **The electrical change on the papilla parotidea by tongue stimulation and by injection of collected saliva**
Koshiro INOMATA, Hisayoshi ISHII¹⁾, Isao OOTA and Masashi KURAHASHI (189)
- 45 **An experimental study of apatite blasted implants**
Hideki MATSUBARA, Yukito HIROSE, Tohru KAKU, Morio OCHI,
Kunihiko SAKAGUCHI (197)
- 59 **Fluoride concentrations in the enamel surfaces of extracted maxillary first permanent molars obtained from Chinese subjects**
Shoko YAHATA, Mina HIROSE, Daisuke MATSUMOTO and Seiji IGARASHI (211)
- 71 **Study of dissimilar metal corrosion of orthodontic metallic appliances**
—Corrosion potentials measured in saline solution—
Toshihiro YUASA, Kazuhiko ENDO, Masahiro IJIMA, Yasuyuki YONEKURA,
Hiroki OHNO, Itaru MIZOGUCHI (223)

〔総説〕

顔面口腔領域での血管運動神経

和泉 博之

北海道医療大学歯学部口腔生理学講座

Vasomotor nerves in orofacial areas

Hiroshi IZUMI

Department of Oral Physiology, School of Dentistry,
Health Sciences University of Hokkaido

Abstract

The blood vessels of orofacial tissues are innervated by cranial parasympathetic, superior cervical sympathetic, and trigeminal nerves, a situation somewhat different from that seen in body skin. The present report summarizes our current knowledge of (1) the innervation of the parasympathetic vasodilator fibers in the orofacial region, (2) the peripheral and central pathways in the reflex arc for the parasympathetic reflex vasodilatation in this region, and (3) species variability exists in the sympathetic-mediated systemic arterial blood pressure changes and parasympathetic-mediated lip blood flow responses themselves, and in the relationship between them.

Key words : Parasympathetic, Sympathetic, Sensory, Reflex, Vasodilatation, Orofacial.

目次

第一章：緒言

第二章：自律神経研究

第三章：血管運動神経について

第四章：下歯槽神経の末梢性電気刺激時の下顎
口唇での血管反応

第五章：下唇血管副交感神経線維

第六章：副交感神経拡張反応の中枢機序

第七章：交感神経反射と副交感神経反射の関連

第八章：おわりに

第一章：緒言

我々人間はどんな時に幸福感を感じるのだろうか？美味しいものを食べた時、綺麗なものを見た時、良い香りを嗅いだ時、家族や知人、恋人と楽しい会話をしている時、何か達成感を感じ

受付：平成16年9月30日

じた時、運動をしている時、歌を歌っている時などと人それぞれに色々な時に感じる。逆に不快感、絶望感なども感じるように多少他の動物とは違った感覚をもっている。このような感覚を感じたとき顔色、色つや、唾液分泌、目の輝きなど色々な変化が顔面口腔領域に現れる。このような現象はヒト特有な反応の一つである。

ヒトとサル、イヌ、ネコ、ラットの他の動物を比較したとき中枢神経、末梢神経などの基本構造はほとんど違いがないが、中枢神経の脳と末梢神経の脳神経の発達には大きな違いがある。脳の違いはコンピューターでいえばハードデスクのquantity（容量）とquality（質）の違いであり、人間と他の動物との大きな差になっている。脳神経の違いは1）視覚、味覚、嗅覚、痛覚、触圧覚、聴覚の感覚においてより選択的な受容を可能にした（個々の感覚が必ずしも人間で最も発達しているわけではないが）、2）様々な横紋筋や平滑筋を選択的に支配し選択的運動を可能にし、数多くの複雑な運動を可能にした（咽頭横紋筋による呼吸、燕下、発声などを可能にした）、3）より上位中枢からの制御を受け複雑な反応を可能にし、情動や他の脳の機能との連結を可能にした、4）自律神経との連動を可能にし、呼吸、燕下らでは脳神経と自律神経とが連動できるようになった。

このように脳神経はヒトで特に発達しi) 多種多様な味覚の感受、ii) 複雑な発声を可能にし言語を発達、iii) 呼吸、燕下過程での自律神経との連動を可能、iv) 情動や意志変化が自律神経系を介して顔面口腔領域で顕著に起こる、等をもたらした。一方自律神経の顔面口腔領域での発達もヒトでは顕著で、顔面の表情や発赤など我々が日常生活上で最もヒトらしさを示すのに関与している。

ヒトも動物と同様に12個の脳神経支配を受けているが、眼、頸、舌筋を動かす以外の7個の

嗅神経、視神経、三叉神経、顔面神経、内耳神経、舌咽神経、迷走神経は顔面口腔領域の五感を担っている。歯科関係に最も関係の深いのは三叉神経で、顔面口腔領域での触、圧、痛覚さらには一部味覚の情報を中枢に伝達する脳神経である。即ち舌からの味覚、触覚、圧覚、痛覚の諸情報は舌神経から三叉神経を経て幾つかのニューロンを換えて大脳皮質の体性感覚野に到達し感覚情報として認識される。一方三叉神経系の刺激は涙腺、唾液腺での腺分泌、瞳孔散大、顔面口腔領域での血管拡張などの自律神経を介した反射反応を起こす。これらが体性-自律神経反射である。これまで体性-自律神経反射の研究は古くから報告されてきた。これは体幹皮膚刺激（痛覚、触覚、圧覚）によって引き起こされる血圧や心拍に対する心臓の反応と血管に対する循環反応である。この反射反応は全て自律神経のうち交感神経系が関与したものである。しかし三叉神経を介した反射反応は交感神経系でなく副交感神経系を介した反応が主である。即ち顔面口腔領域での刺激によって起こる顔色、色つや、唾液分泌、目の輝きなどの反応は副交感神経を経由して起ることを意味している。

本総説ではi) 顔面口腔領域での血管運動神経、ii) 三叉神経-自律神経反射等についてこれまでの私たちの行ってきた実験を中心に概説する。

第二章：自律神経研究

(i) これまでの自律神経研究

図2-1は顎下線のような腺組織で自律神経が関与しているか否かを検討するときの電気刺激部位を示したものである。直接的に自律神経線維を遠心性に刺激する方法としてはA-Dの部位を刺激する方法がある（Aは自律神経節後線維、Bは自律神経節前線維、Cは自律神経節

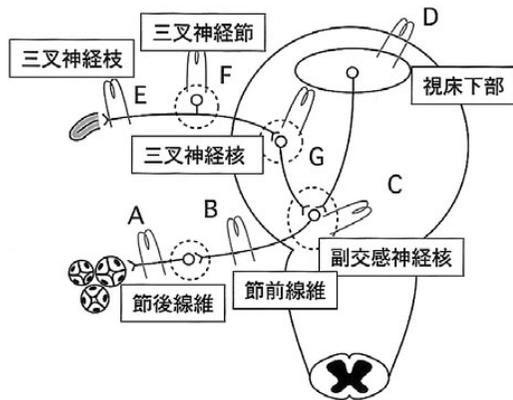


図2-1 これまでの自律神経系の研究

前線維の細胞体（唾液核らの副交感神経核や交感神経中間質）、Dは視床下部）。AとBの刺激方法は古くから用いられてきた方法であり、実際に対象とする組織を自律神経支配しているのをみながら刺激するので確実に反応をみることが出来る点は長所である。CとDはA、Bでの刺激方法が確立してきてから、次にその細胞体の局在を検討する目的で行われた。Dは自律神経の最高中枢は視床下部であるという概念に基づいて刺激してきたというのが実情である。しかしながらこれらの方法が必ずしも最善の方法ではない。なぜならば必ずしも生理的でないからである。自律神経系の反応はすべて反射反応であるにもかかわらず直接神経を大容量刺激して得られた反応が生体で本当に起こっているのかは何時も疑問に思われていた。電気刺激の条件は自律神経反応が最もよく発現する10Hz、1ms、10volt、10secが一般的である（勿論臓器や目的に応じて多少の変動はある）。しかし自律神経を電気生理学的に調べてみると必ずしもこのような発火パターンではなくバースト（burst）状の発火パターンを示して反応を起こすことが報告されている。このように電気刺激の条件は生体で起きている電気現象とは多少異なっている。これらのことは直接的な電気刺激は必ずしも生理的状态でないことを示している

のだが、そのようなことは無視して実験は行われ教科書等に真実として記載されているものが多い。それ以上に問題になるのは、細い副交感神経がけっして単独で存在することはなく、常に太い三叉神経や顔面神経に混入して目的の器官、組織を神経支配しているために電気刺激するときは必ずこれらの神経をも刺激していることである。これらの神経が目的とする臓器に対して全く影響を与えないなら問題はないのであるが、血管反応は感覚神経中の侵害性C-線維が逆伝導性血管拡張反応を起こすことから無視できない問題である。表2-1に自律神経に関して一般的（教科書的）に考えられているが間違いではないかと思われる点を挙げてみた。

表2-1 自律神経の作用に関して一般的（教科書的）に常識と考えられているが間違いではないかと思われる作用

- 1) 散瞳は交感神経、縮瞳は副交感神経
- 2) 唾液腺で漿液性唾液は副交感神経、粘性性唾液は交感神経
- 3) 皮膚血管は交感神経収縮線維のみの神経支配
- 4) 交感神経と副交感神経の作用はすべて相反作用
(交感神経は悪玉、副交感神経は善玉よりは協調作用)
- 5) 感覚神経（C-線維）の逆伝導性刺激でのみ血漿露出が起こる
- 6) 孤束核が自律神経反射の中枢
- 7) 痛覚刺激は交感神経系を興奮させ必ず血圧が上昇する
- 8) 麻酔下では自律神経反射は起こらない（激減する）
- 9) 自律神経反応は動物間に大きく変わらない
(一種の動物の実験結果が教科書にもその反応が載っている)
- 10) その他

自律神経反応が何らかの求心性神経刺激で起こる反射反応であることから麻酔動物を用いて味覚、痛覚らの種々の刺激を加えて自律神経反応を惹起する試みが古くから行われてきたが、なかなか十分な反応を見ることができない。即ち無麻酔下では味覚刺激で多量の唾液分泌がみられるが麻酔下では激減する。このように麻酔薬により自律神経反射が抑制されてしまうことから、これまでの自律神経の役割に関する教科書は先に述べた遠心性神経を直接電気刺激した実験データが基になっている。このことから教

科書に載っている自律神経の生理的作用が現実的に反射で起こっている生理反応と違っていることが多々ある。その例を列挙してみると表2-1のようになる。これは私がこれまでの実験から推察しているだけで一般的概念となっているわけではないので若干の説明をする。1) に関しては確かにネコ頸部交感神経を刺激すると散瞳、動眼神経中の副交感神経を刺激すると縮瞳反応が観察される。体幹皮膚や顔面口腔領域への痛覚刺激でも散瞳する。三段論法的に単純に“痛覚刺激は交感神経を介して散瞳”と記載されている。一見これにはどこも間違いがないように見える。しかるにもう少し詳細に実験してみると以下のようなことが判明した。1) 顔面口腔領域への痛覚刺激で散瞳反応を起こす、2) この散瞳は頸部交感神経切除では抑制されない、3) この散瞳は三叉神経脊髄路核や中脳にある瞳孔反応の副交感神経核であるEdinger-Westphal核へのリドカイン(神経抑制薬)により可逆的に抑制される、4) 三叉神経脊髄路核刺激で散瞳反応を起こす、5) Edinger-Westphal核刺激で縮瞳反応を起こす。これらの実験結果から顔面口腔領域への三叉神経刺激による散瞳反応は交感神経を介するものではなく三叉神経脊髄路核やEdinger-Westphal核を介した反応であり、Edinger-Westphal核の抑制による散瞳反応であることが明らかである。2) に関しても確かにネコ頸部交感神経刺激でも鼓索神経や鼓索-舌神経刺激と同様な唾液分泌反応を起こす。しかし舌神経刺激を介して反射的に唾液分泌反応を起こした時には頸部交感神経切断による抑制効果は全くみられない。このようにウレタン-クロロロス麻酔下で副交感神経性唾液分泌反応が起こっているにもかかわらず交感神経性の反応を反射性に起こすことができない。このことは交感神経が反射性唾液分泌反応を起こさないのではないかという推論へ導く。勿論私は交感神経が唾液分泌反

応に全く関与していないと結論しているのではなく、交感神経は副交感神経による唾液分泌反応の調節をしている可能性が高いと考えているのだが、これは既に報告しているのでそちらの論文を参照していただきたい。このように教科書に記載されていることが必ずしも正しいとは限らないので読者は自分の実験を信じて正しい機序を打ち立てる以外ない。すべての項目についての議論は紙面の都合上無理なのでここでは割愛する。

(ii) 体性-自律神経反射とは

体幹皮膚や骨格筋を支配しているのは脊髄神経である。脊髄神経には感覚神経と運動神経が含まれている。ここで言う体性神経とは感覚神経(広義に特殊感覚神経も含)であり、体幹では皮膚からの感覚情報を伝達し、顔面・口腔では顔面皮膚や口腔粘膜、歯髄、歯根膜からの感覚情報を伝達する。体幹皮膚からは脊髄神経、顔面、口腔からは三叉神経を介して中枢に伝えられる。刺激性の味が唾液分泌を起こすことは古くから知られていたが、香ばしい香り、美しい風景や絵画、心安らぐ音楽なども自律神経反射を起こすことは近年報告されるようになってきている。即ち三叉神経を介する感覚のみでなく特殊感覚である嗅覚、視覚、聴覚の感覚が自律神経の興奮に重要な刺激であることが明らかにされてきている。

自律神経反射には交感神経を介したものと副交感神経を介した反射の二つがある(図2-2)。これに関する研究は古くから行われてきた体幹皮膚を触、圧、痛覚刺激した時に起こる血圧反応や心拍反応さらには血管反応のような循環反応に対する交感神経系の研究である⁸⁻¹³。即ち触、圧、痛覚刺激による感覚神経(体性神経)の興奮が反射的に交感神経を興奮させて血圧、心拍、血管反応を起こす反射である。これは近年、鍼灸指圧のヒトに与える効果

などの機序に使われている。もっと身近なところでは生理学の実習書にも載っている寒冷試験が典型的なものである。それは片手を2-5分間氷水中に入れ、その時の血圧、心拍数、瞳孔、筋交感神経（腓骨神経から測定）やもう一方の手の血管収縮反応を測定する方法である。この刺激は冷覚ではなく痛覚である。1分以上氷水中に手を入れておくと強烈な痛み感覚を起こす。この方法は無麻酔下ヒトで体性-交感神経反射の研究に良く用いられる。

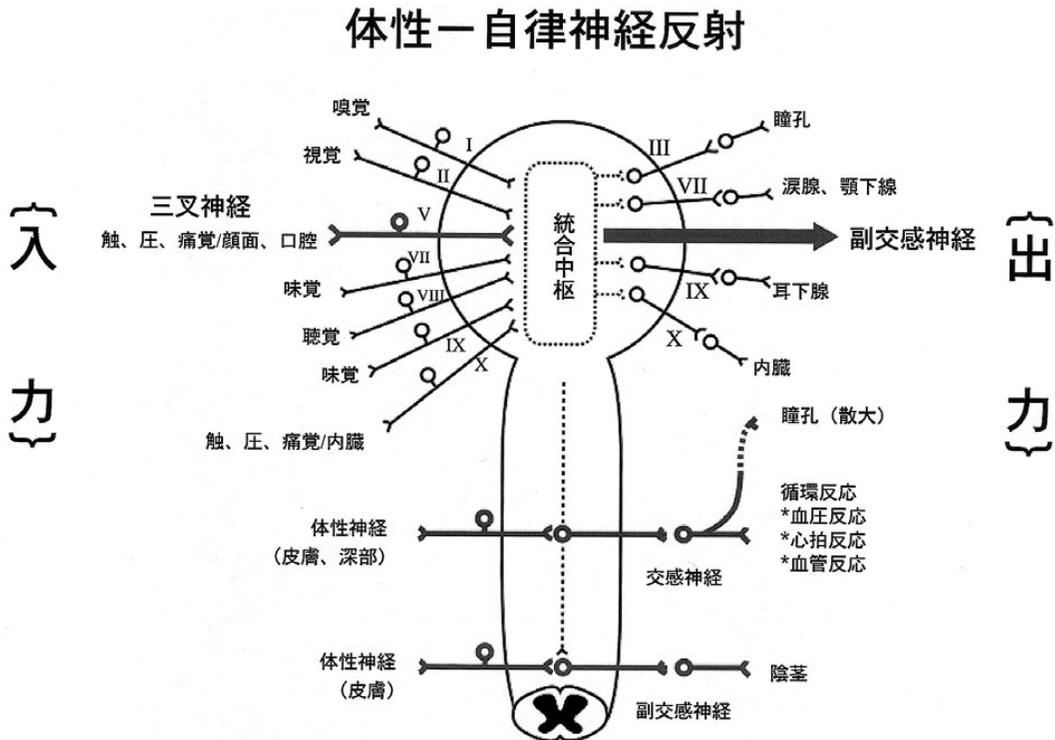
一般的に寒冷試験法はすべての交感神経活動を興奮すると考えられているが個々の反応を検討してみると、血圧上昇は筋交感神経活動興奮との相関はみられるが心拍数増加とは必ずしも相関しない¹⁴。副腎除去したヒトでも寒冷試験で血圧が上昇することから、血中カテコールアミンの上昇が交感神経性の反応を起こしているのではないことがわかる¹⁵。この方法を用い、

痛みとの関連についても報告されている。痛覚情報を抑制するオピエート投与により散瞳反応の著しい抑制効果が見られることなどから、オピエートによる鎮痛効果の測定に寒冷試験法は有効な方法の一つであると報告されている¹⁶。このようにヒトを用いた体性-自律神経反射の研究は、近年数多く報告されてきている。

iii) 何故自律神経反射が大切か？

人間は十分な食物と睡眠を摂っただけでは健康でいられないことは誰でも知っている。そのほかにやはり運動が必要なことは良く知られているが、運動はただ単に骨格筋の筋運動が目的ではない。筋の伸展時には筋紡錘も伸展し、その情報は感覚神経（Ia群求心性線維）によって中枢神経に伝えられる。こうした筋からの感覚情報は脳に伝わり、反射的に自律神経系を活性化し、心臓、血管系の循環機能ばかりでなく内

図2-2：体性-自律神経反射



分泌機能，免疫機能なども亢進する．こうして全身の機能の維持をしているのである．筋運動は手足の運動ばかりでなく，咀嚼運動もまた重要な運動である．咀嚼はただ単に食物の粉碎だけをしているわけではない．しかし運動ばかりが反射性に自律神経，内分泌，免疫機能を亢進するのではなく，種々の嗅覚，視覚，触覚，圧覚，痛覚，味覚，聴覚の感覚情報もこれらの機能を亢進する．感覚情報は生体のホメオスタシスの維持に重要なことである．このように様々な感覚情報は自律神経反応を活発にすることから，如何に自律神経が感覚情報によって影響を受けているかが推察される．しかし嗅覚，視覚，聴覚刺激による自律神経に対する効果はヒトでは実感できるが動物実験で証明するのはなかなか難しい．比較的研究が行われているのは三叉神経を求心性神経とする三叉神経－自律神経反射である．しかし交感神経反射を介する体幹血圧反応の研究が殆どであり副交感神経を介した報告は皆無であった．

第三章：血管運動神経について

血管運動神経としては大きく表3-1の四種類の血管運動神経が知られている^{17,18}．これらの血管運動神経は血管の収縮反応や拡張反応を起こして体温調節，栄養補給，水分供給，組織

修復，代謝調節など多岐に渡る生理作用をつかさどる．このような神経制御のない血管がガン細胞の血管である．表3-1に挙げた四種類の血管運動神経が全ての組織を神経支配していることはなく，交感神経拡張線維と副交感神経拡張線維は限局された部位のみを神経支配している．

1) 交感神経

交感神経収縮線維はほとんどすべての組織の血管を支配している．神経終末からノルアドレナリンを放出し血管平滑筋のアドレナリン作動性受容体に作用して血管収縮を起こす．分泌密度は皮膚血管で最も大きく，主として体温調節を行っている．腎，消化管，脾臓の血管への神経支配も多く，これらの血管は神経性調節を受けやすいが，脳と冠状血管には分布が少なく神経性調節を受けにくい．

交感神経性血管拡張線維は骨格筋の血管の細動脈部を神経支配し，防衛反応（defense reaction）時などに血管拡張線維を興奮させ運動が始まる前に筋血流を増やして準備態勢を整えておくようにする線維である．骨格筋支配であるから脳，内蔵，皮膚血管らでは報告されていない．歯科国家試験にも出題されるぐらいポピュラーな線維ではあるがネコらでアセチルコリンが神経伝達物質，アトロピンで抑制されるコリン作動性線維であるぐらいしか証明されていない．即ちヒト，サルでは伝達物質さえも確認されていない．このように解明が進んでいない線維の一つである．

表3-1 血管運動神経の分類

- 1) 自律神経
 - i) 交感神経
 - 血管収縮線維
 - 血管拡張線維
 - ii) 副交感神経
 - 血管拡張線維
- 2) 感覚神経
 - i) 侵害性C-線維
 - 血管拡張線維

2) 副交感神経（血管拡張線維）

副交感神経は基本的には内臓器官（生殖器を含めて）と顔面頭部の外分泌腺（唾液腺，涙腺など）のみを神経支配していると考えられてきた．特に唾液腺での研究は最も古く Claude Bernard（1858）は酔をイヌの口に含ませると

顎下線の唾液分泌とともに血管がみるみるうちに明るく変化していくのを観察し、この現象が鼓索神経を切断すると消失することから神経を介した味覚反射で起こることを初めて証明した¹⁹。今から150年前の報告である。しかしこれで血管拡張線維の存在が証明されたわけではなく、証明までには長い論争がなされた。その理由は唾液分泌で分泌した代謝物、酵素（カリクレインなど）や分泌腺を刺激するために神経末端から放出したアセチルコリンが血管を拡張しているのではないかと考える説があったからである。その後分泌神経と血管拡張神経が別々に存在することなどが証明され、現在はその線維はvasoactive intestinal peptide (VIP) らの神経ペプチドを神経化学伝達物質として神経末端から放出し、血管平滑筋を拡張していると考えられている²⁰⁻²²。この説の延長線上にバイアグラが発明されたというわけである。即ちバイアグラは副交感神経伝達物質が血管平滑筋受容体で生じたサイクリックAMPの分解酵素（5'-phosphodiesterase）を抑制することによってサイクリックAMP量を増加させることで持続的

血管拡張作用をもたらしているのである。血管運動神経の学問の進歩がこのようなところにも応用されるようになってきている。

私たちが研究する以前（約20年前）には唾液腺、生殖器の血管のみに副交感神経性血管拡張線維が存在すると考えられていた。それが顔面口腔領域の線分泌を起こさない部位（口唇、口蓋、舌、鼻粘膜など）の組織の血管にも副交感神経性血管拡張線維が存在し、この副交感神経性血管拡張線維は求心性神経である三叉神経刺激により中枢を介して反射的に興奮し、血管拡張反応を起こすことが証明された。

第四章：下歯槽神経の末梢性電気刺激時の下顎口唇での血管反応

動物実験ではヒトとは異なり顔面領域の皮膚表面が殆ど毛でおおわれているため、非接触型血流測定であるレーザードップラー血流計を用いての血流実験の測定部位が口唇、歯肉、口蓋等に限られる。口唇や歯肉の血管を支配している下歯槽神経を神経標本として用いた例を示

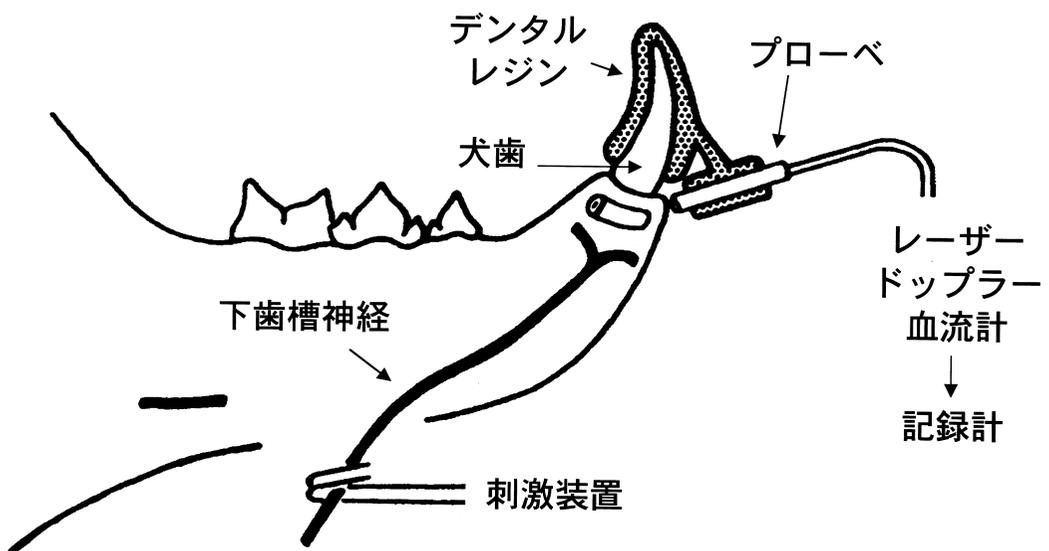


図4-1：下顎口唇（歯肉）血流測定法と下歯槽神経の電気刺激の模式図

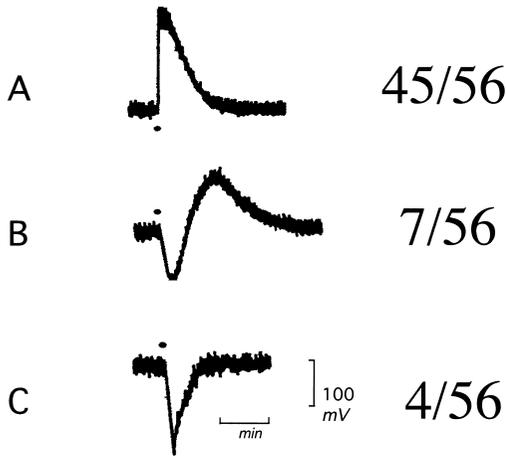


図4-2：ネコ下歯槽神経の電気刺激（2 msec, 5 Hz, 30-100V, 3sec）による血流の変化（56匹）

す^{23,24}。図4-1に実験の概略を示す。下歯槽神経は下歯槽管より実体顕微鏡下で単離後末梢性に電気刺激（5 Hz, 2ms, 30-100V, 3 sec）した。図4-2は56匹のネコで表れた血流の変化とその出現割合を示したものである。

このように神経刺激による血流の変化は必ずしも同一の反応を示さない。大きく3つに分類できる。1) 血管拡張反応のみ, 2) 収縮後拡張反応, 3) 収縮反応のみが表れるのがそれぞれ80, 13, 7%であった。拡張反応と収縮反応の表れた反応系に対して交感神経アドレナリン α 受容体抑制薬（フェントラミン）やヒスタミン H_1 受容体抑制薬（トリペレナミン）、セロトニン受容体抑制薬（メチセルジド）による効果を検討してみると、拡張反応に対しては自律神経系抑制薬（フェントラミン、プロプラノロール、アトロピン、ヘキサメソニウム）は全く効果がなくヒスタミン H_1 、セロトニン、サブスタンスP受容体抑制薬により有意に抑制される（図4-3）。しかしそれらの抑制の割合はわずかである。一方収縮反応はフェントラミンにより完全に抑制される。これらの実験結果から自律神経は収縮反応を起こす時のみ交感神経収縮神経が関与しているが拡張反応には全く関与していないと結論づけられる。このような実

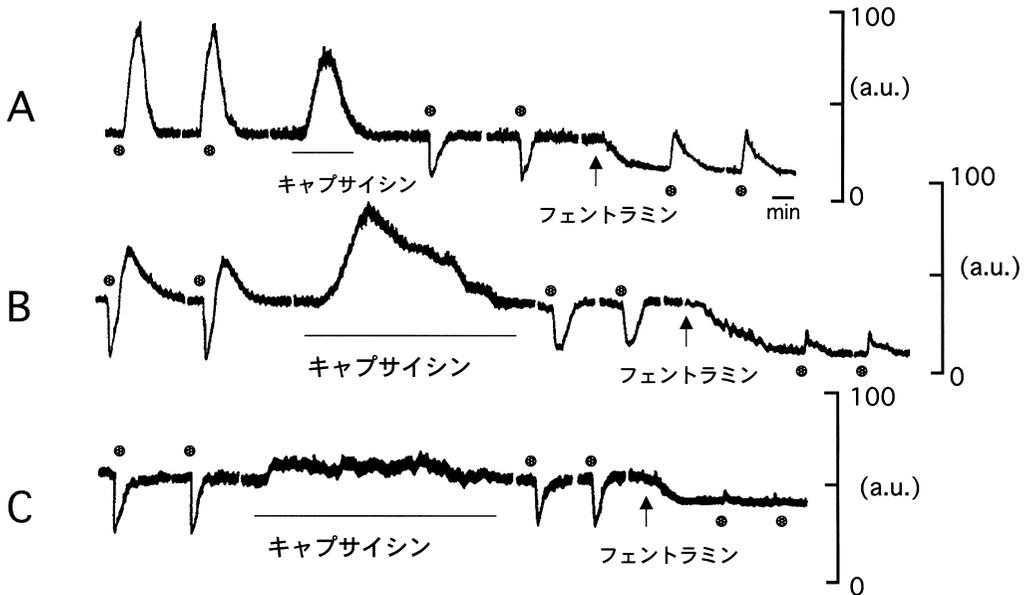


図4-3：ネコ下歯槽神経の電気刺激で出現した三パターン（図4-2のA, B, C）に対するカプサイシン（1%）、フェントラミン（1 mg/kg）の効果。神経の電気刺激は5 Hz, 2 ms, 10-100V, 3 secである。

験からは全く副交感神経線維の存在は証明できない。

第五章：下唇血管副交感神経線維

どうして顔面口腔領域で副交感性血管拡張線維の存在を確認できたかというとはやはり偶然としか言いようがない。第四章で述べたように下歯槽神経を直接刺激したときの口唇血流に対する効果を研究中に、三叉神経支配の異なる眼窩下神経や上顎歯肉を電気刺激すると下顎口唇で血管拡張反応が起こることを観察しその機序を検討した結果、これが副交感神経血管拡張線維の興奮によることが判明したのである。このようにして顔面口腔領域での下顎口唇らの皮膚血管で初めて副交感神経の存在が明らかになったのである。ではどのような証明法であったのかを紹介する²⁵⁻²⁹。

図5-1は上顎歯肉、眼窩下神経、顔面神経根、舌咽神経根、翼口蓋神経節の電気刺激部位と顔面神経根、舌咽神経根、頸部交感神経、翼口蓋神経節、下歯槽神経の切断部位、さらに下顎口唇血流をレーザードップラー血流計で測定した模式図を示している。

図5-2で示すように上顎歯肉や眼窩下神経の電気刺激により下顎口唇で血管拡張反応が見られる。この下顎口唇で見られる血管拡張反応がどのような機序で起こるのかを推定してみると以下の1) 軸索反射性血管拡張反応、2) 交感神経性血管拡張反応、3) 副交感神経性血管拡張反応の三つの機序が考えられる。

今回の実験での血流測定はレーザードップラー血流計を用いている。レーザードップラー血流計は赤血球、白血球、血小板らの血球の単位時間内の動き測定していることから、血球運動の増加反応が血管の拡張のみならず血圧上昇に

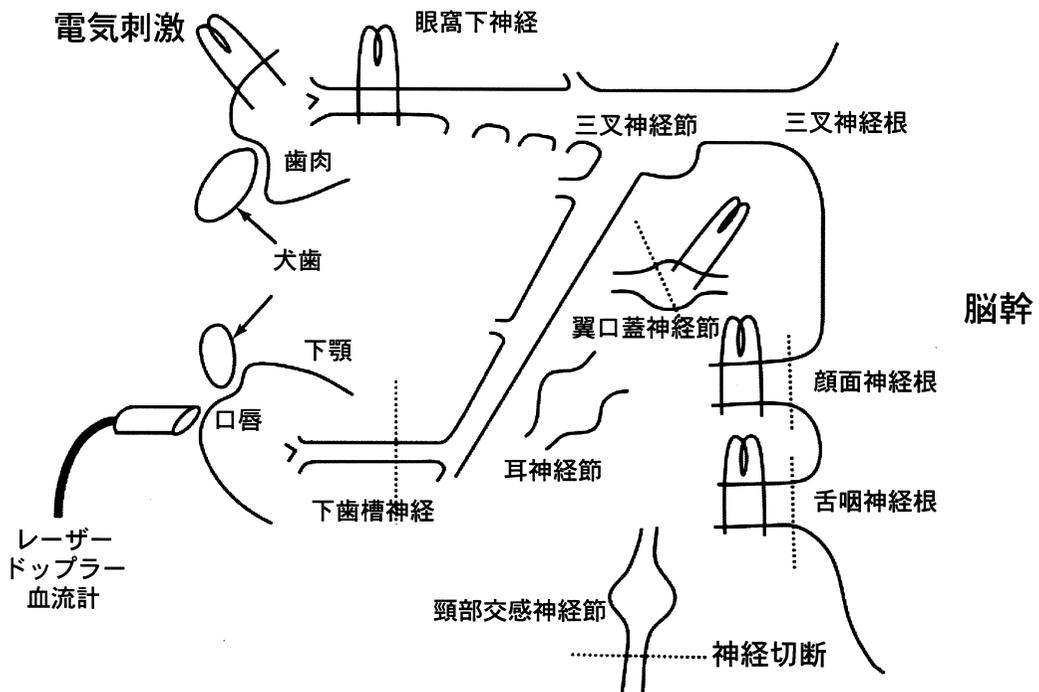


図5-1：上顎歯肉、眼窩下神経、顔面神経根、舌咽神経根、翼口蓋神経節の電気刺激部位と顔面神経根、舌咽神経根、頸部交感神経、翼口蓋神経節、下歯槽神経の切断部位（破線）、さらに下顎口唇血流測定部位

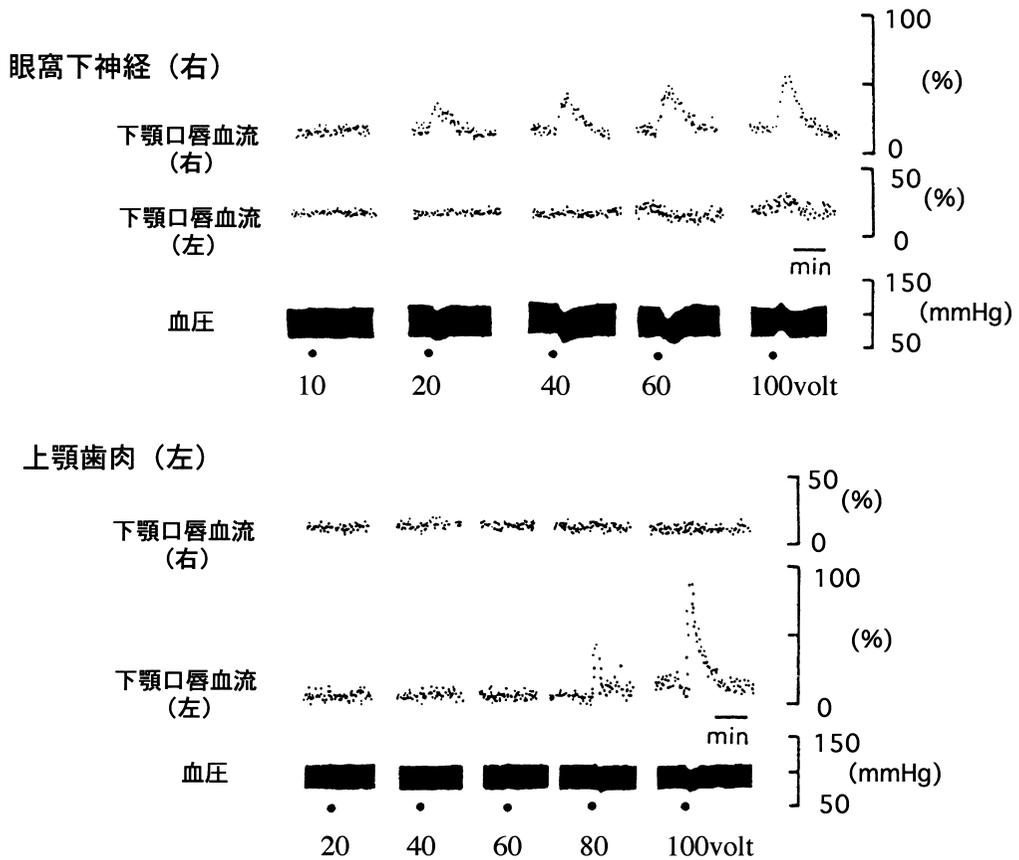


図5-2：眼窩下神経（右側）と上顎歯肉（左側）の電気刺激による左右下顎口唇血流の変化

よっても観察される。このことからレーザードップラー血流計で血流値を測定する際には必ず体幹血圧の変動と刺激した部位の反対側の血流値をレーザードップラー血流計で測定する必要がある。今回、上顎歯肉や眼窩下神経の電気刺激では刺激部位と同側の下顎口唇血流の増加は見られるが、この時体幹血圧の上昇も対側下顎口唇血流の増加もみられない。これらの実験事実から上顎歯肉や眼窩下神経の電気刺激による同側下顎口唇血流増加は末梢血管拡張によるものであることがわかる。それではどのような機序で血管拡張反応がおこるのであろうか？上顎神経の側枝である眼窩下神経が分枝を作り下顎口唇の血管を支配して広義の軸索反射性血管拡張反応を起こしている可能性が1)である。し

かしながら上顎歯肉刺激による下顎口唇血管拡張反応は自律神経節遮断薬であるヘキサメソニウム（Hexamethonium）により用量依存的、時間依存的に抑制される。このことは1)の軸索反射性血管拡張反応による可能性は否定され、遠心性神経としては自律神経が関与している反射反応であることを示唆している。自律神経には交感神経と副交感神経があり、体幹皮膚と違って顔面口腔領域では両神経の神経支配が考えられる。しかしこの反応は頸部交感神経の切断により影響を受けないことから副交感神経の可能性が高い。先に下顎口唇血管は顔面神経根と舌咽神経根の両方の副交感神経性血管拡張線維により神経支配されていることを報告した³⁰。眼窩下神経刺激による血管拡張反応は顔面神経

根の切断では全く効果が見られないが舌咽神経根切断で完全に消失した。

副交感神経性血管拡張線維が下歯槽管中の下歯槽神経を經由しているか否かを神経切断の効果と局所麻酔薬であるリドカインを用いて検討した実験結果では、1) 刺激と同側の下歯槽神経の切断により血管拡張反応は完全に消失する、2) 上顎歯肉刺激による下顎口唇血管拡張反応はヘキサメソニウムにより用量依存的、時間依存的に抑制される、さらに3) 下歯槽神経へのリドカインの塗布により同側の顔面、舌咽神経根刺激による血管拡張反応が抑制される。これらは顔面、舌咽神経中の副交感神経性血管拡張線維はいずれも下歯槽神経を經由してオトガイ孔から下顎口唇の血管に達することがわかる。以上の実験結果より上顎歯肉や眼窩下神経の刺激によっておこる同側下顎口唇での血管拡張反応は、上顎歯肉で起こった興奮が三叉神経の上顎神経を經由して脳幹に達し、反射的に副交感神経性血管拡張線維を賦活させ舌咽神経根を通り、さらに耳神経節でニューロンを交代し、下歯槽神経を經由して下顎口唇（歯肉）の血管を拡張しているものと思われる（図5-3の矢印）。

これらの反射弓をさらに解剖学的に証明したいと考えてhorseradishperoxidase (HRP) を用いて実験した。HRPは末梢神経に取り込まれ、神経細胞体に輸送される性質を利用して神経走行などを研究するのに便利に使用されているものである。下顎の口唇や歯肉や上顎の口唇、歯肉にHRPを注入し、HRPの副交感神経節である耳神経節と翼口蓋神経節への取り込みを比較検討したものが表5-1である³¹。HRPを下顎口唇や歯肉に注入するとほとんどが耳神経節に、上顎口唇、歯肉に注入すると一部耳神経節にも取り込まれるが大部分は翼口蓋神経節に取り込まれている。組織学的研究からも下顎口唇（歯肉）の血管を神経支配している副交感神経節後線維の細胞体は耳神経節にあることが示唆される³²。我々の実験はネコでの実験であるが、ラット下唇でも同様な結果が報告されている。これらの実験結果は、1) 顔面領域の皮膚血管が副交感神経性の血管拡張線維によって神経支配を受けていること、2) この副交感神経性拡張線維は三叉神経等の感覚情報により脳幹で活性化を受けることが明らかとなった。これらの実験結果から顔面領域の血管反応は体性-自律（副交感）神経反射により制御されている可能

- 1) 軸索反射（侵害性 C-線維）
(axon reflex vasodilatation)
- 2) 交感神経性血管拡張線維
(sympathetic vasodilatation)
- 3) 副交感神経性血管拡張線維
(Parasympathetic vasodilatation)

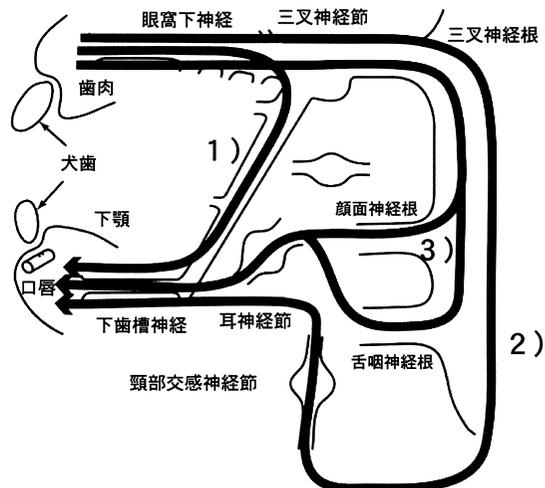


図5-3：上顎歯肉、眼窩下神経の電気刺激による下顎口唇血流増加反応の考えられる機序

性が高いことがわかる。

表5-1 下顎口唇，歯肉にHRPを投与後，耳神経節，翼口蓋神経節で見られる標識ニューロン数

| 動物 | HRPの投与部位 | 標識された細胞数 | |
|----|-------------|----------|--------|
| | | 耳神経節 | 翼口蓋神経節 |
| 1 | 下顎 口唇，歯肉 | 445 | 4 |
| 2 | | 347 | 0 |
| 3 | | 267 | 0 |
| 4 | | 463 | 0 |
| 5 | 上顎 口唇，歯肉 | 18 | 257 |
| 6 | | 17 | 99 |
| 7 | | 22 | 54 |
| 8 | | 16 | 105 |

上記の副交感神経性血管拡張線維はアトロピンによって影響を受けないことからコリン作動性ではなく，線維の末端での化学伝達物質は顎下腺や鼻粘膜等の実験から推定されている vasoactive intestinal peptide (VIP) のような物質と推定される。これを支持する報告としてはKajiら(1988)の免疫組織化学法によるラット下唇血管での副交感神経中にVIP陽性線維の存在を示した研究²¹やGibbins²⁰の顔面領域の副交感神経に多量のVIP含有線維の存在を報告している実験などがある。副交感神経性血管拡張線維は下歯槽神経を直接電気刺激時(図4-2)でも興奮し血管拡張反応を起こしていると考えられるが，副交感神経性血管反応と逆伝導性血管拡張とを区別する方法がなかったために，副交感神経性血管拡張線維の存在がこれまでに証明できなかったものと思われる。

第六章：副交感神経拡張反応の中枢機序

一般に中枢機序の研究には以下の三種類の方法が良く用いられている。

1) 解剖学的研究 (HRP, c-fos)

HRP法：これは末梢組織にHRPを投与するとHRPが末梢神経に取り込まれた後，軸索輸送で神経核に輸送される。このHRPを観察すること

によりどの神経核がどの部位の末梢組織を神経支配しているのかを推察することが可能である。

c-fos法：c-fosは種々刺激によりすばやく反応し，immediately early genesとよばれている遺伝子で味覚，痛覚刺激でc-fosの発現を神経核で観察することができる。この方法を用いてそれぞれの刺激興奮がどの神経核に興奮を伝えているのかを検索することができる。

2) 電気生理学的研究 (活動電位の測定)

味覚，触覚，痛覚らの刺激により中枢のどの神経核が電氣的に興奮するかを検討することにより神経経路の検索に用いられている。

3) 生理学的研究 (神経核の電氣的，化学的破壊，興奮，抑制)

高電流や極微量の電流の通電，興奮性アミノ酸や抑制性アミノ酸や神経伝達ブロックの局所麻酔を局部的に投与して特定の神経核を破壊，興奮，抑制することにより，神経核の生理的役割を推察するのに用いられる。

勿論これらの方法だけが脳機能の研究ではなく，陽電子断層撮影 (PET) や機能的核磁気共鳴画像 (fMRI)，電気生理学画像法らを用いた方法で脳の代謝活性の変化を測定することにより精神活動 (思考，視覚など) のような脳の働きを可視化することなども近年報告されている³³。しかしどの方法も一長一短あり研究目的に応じて色々な方法が用いられている。又，HRP法とc-fos法を用いた実験結果も必ずしも一致しないことが多い。例えば神経の投射が存在しているとしても，刺激によってc-fos発現が必ず観察されるわけではない。このように何かを証明しようとするときには，一つの方法だけでなく幾つかの方法を用いて検討する必要がある。

PETやfMRIの装置は非常に高価で小さな研究室では研究はできないが近年は多くの研究報告がなされてきている。

これまで自律神経を介した反射反応の研究は数多く報告されてきた。その多くは循環に関連した圧反射，化学反射，味覚，唾液に関連した唾液分泌反射に関する研究である。これらに共通するのは反射中枢が脳幹であることから脳幹反射と呼ばれている。その中枢部は脳幹の孤束核である反射が多いことから，自律神経反射の反射中枢は孤束核を中継核としていられるとされている。

我々はこれまで述べてきた舌神経の電気刺激によって起こる下顎口唇，口蓋らの血管拡張反応の中枢機序の解明にはリドカインとカイニン酸を用いた^{34,35}（図6-1）。リドカインは局所麻酔薬であり神経ブロックをするが神経線維，神経細胞体の両方を可逆的に無差別に抑制するのに対し，カイニン酸はイボテン酸と同様に神経細胞体のみを不可逆的に破壊して神経線維には影響を与えないことが知られている³⁶⁻³⁸。第四章の副交感神経血管拡張線維は舌咽神経を經由してくることことから，この神経核は下唾液核に存在している可能性が高い。

舌神経中には味覚情報を伝える顔面神経と触覚，圧覚，痛覚情報を伝える三叉神経が含まれ

ていて，それぞれ延髄の孤束核，三叉神経脊髄路核とシナプス結合している。即ち舌神経刺激で下顎口唇血管拡張反応が起こることで反射弓は幾つか考えられるが，大きく二つの可能性が考えられる。一つのパターン（舌神経-孤束核-下唾液核（副交感神経核）-耳神経節-下顎口唇血管）と二つ目のパターン（舌神経-三叉神経脊髄路核-下唾液核（副交感神経核）-耳神経節-下顎口唇血管）である。

図6-2は2%リドカインあるいは10mMカイニン酸の効果を検討したものである。三叉神経脊髄路核に注入後10分間隔で舌神経を刺激した時の下顎口唇血管拡張反応を観察した結果，リドカイン投与では10-20分後には血管拡張反応はほとんど抑制されているが30分以降では徐々に回復し，60分後ではほぼ回復する。一方カイニン酸投与では投与後10数分後5-10分間著しい血管拡張反応が見られる。それが終了するともはや舌神経刺激による血管拡張反応は激減し60-120分後には反応は見られなくなる。このカイニン酸の抑制効果は下唾液核刺激による血管拡張反応には影響を与えることはない。さらにリドカインもカイニン酸も対側舌神経刺激による対側血管拡張反応に対しては全く影響を与えない。下唾液核のリドカインによる神経ブロックは舌神経，三叉神経脊髄路核刺激による血管拡張反応を可逆的に抑制する。孤束核のリドカインによる神経ブロックでは抑制されない。これらの実験結果をまとめると舌神経刺激による下顎口唇血管拡張反応は1) リドカイン，カイニン酸の三叉神経脊髄路核の神経ブロック薬により抑制を受ける，2) 1)の抑制効果は同側にのみに働き，対側に対しては抑制効果がない，3) 三叉神経脊髄路核の神経ブロック後も下唾液核の電気刺激で血管拡張反応は起こることなどが判明した。以上の実験結果は i) 孤束核より三叉神経脊髄路核が関与，ii) 三叉神経脊髄路核を經由後下唾液核を經由

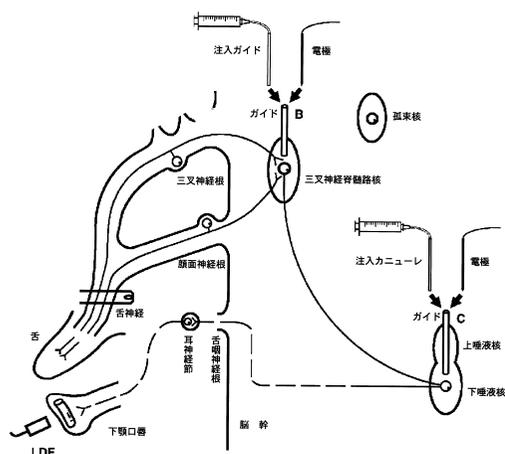


図6-1：副交感神経性血管拡張反応の中枢部位の検討での電気刺激部位（舌神経，三叉神経脊髄路核，唾液核）とリドカイン，カイニン酸の投与部位（三叉脊髄路核，唾液核）

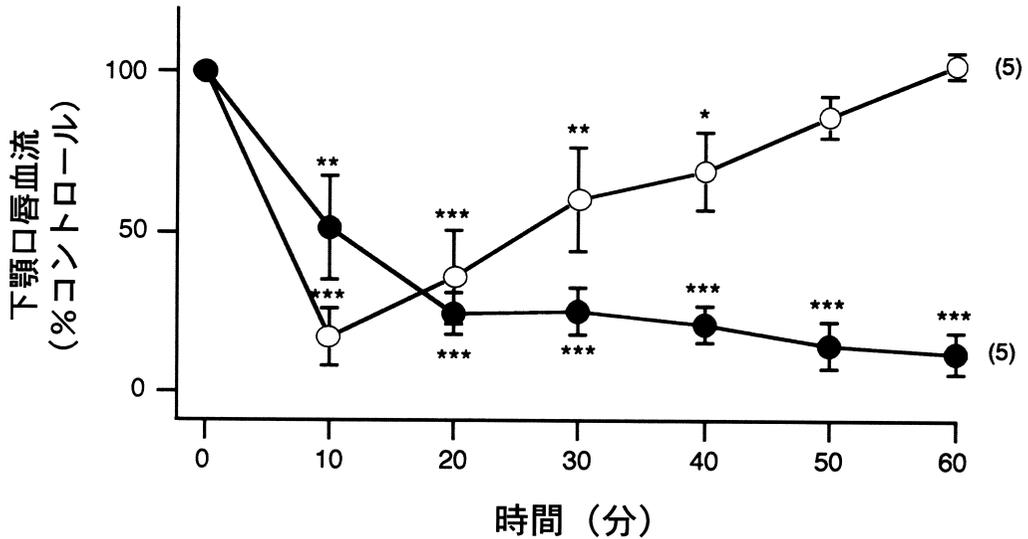


図6-2：2%リドカイン(○)あるいは10mMカプサイシン(●)を三叉神経脊髄路核に注入後10分間隔で舌神経を刺激した時の下口唇血管拡張反応(5匹の平均値)

iii) 舌神経からの刺激は同側の副交感神経しか興奮させないなどが示唆された。これらのことから上述の第二のパターン(舌神経-三叉神経脊髄路核-下唾液核(副交感神経核)-耳神経節-下顎口唇血管)の可能性が高いことが推定される。

第七章：交感神経反射と副交感神経反射の関連

体性-自律神経反射の研究の歴史は古く1900年代の初期には既に論文が報告されている¹⁰。その多くは体性-交感神経反射である循環反応に関する研究である。即ち座骨神経や大腿神経などの脊髄神経を求心性に刺激すると交感神経を介して血圧変動が起こる反応である。この血圧変動は刺激する神経の刺激強度、周波数、さらには用いた麻酔薬、またどの神経を刺激したかによって大きく異なる。これらに関する研究は他の総説^{10, 12, 13}に詳しく記載されているので割愛させていただく。ここでは三叉神経を感覚神経とした三叉神経-自律神経反射について述べる。

三叉神経刺激の循環器系に対する効果の研究も古く、日本においても100年近く前に遡る。1910年豊田³⁹は麻酔ウサギで歯髄や三叉神経の電気刺激により血圧が低下し、この低下が頸部迷走神経切断で影響されないことから、三叉神経-迷走神経反射ではないことを報告している。しかし未だにこの血圧低下反応を三叉神経-迷走神経反射と記載している教科書等が存在するのには首を傾げざるをえない。Dellow & Morgan (1969) はペントバルビタール麻酔ネコを用いて大腿神経、舌神経、歯髄神経を同一の刺激条件で電気刺激したときの血圧反応を比較した結果、大腿神経では血圧上昇、舌神経と歯髄神経では血圧下降の反応を起こすことを観察し、同じ感覚神経刺激でも脊髄神経経由と三叉神経経由とでは交感神経に対する効果が異なる事を報告した⁴⁰。その後種々の実験動物を用いた実験は数多く発表されているが中枢機序を取り扱った論文はKumada等が初めてである⁴¹⁻⁴³。Kumada等はウサギ脳幹部(三叉神経脊髄路核)に血圧を低下させる部位の存在を見だし、この反応をtrigeminal depressor response

(TDR) と命名した。次にそれがどのような中枢機序で自律神経系、特に交感神経系に影響を与えて血圧低下を起こすのかが解明されたのは最近のBlessing等(1998, 2000)の研究によってである⁴⁴⁻⁴⁶。Blessing等はウサギを用いて交感神経節前ニューロンに影響を与えそうな延髄吻側腹外側部(rostral ventrolateral medulla, RVLM, 心臓血管系に対する交感神経活動を調節)や延髄の縫線核(raphe-parapyramidal area, RPA, 非心臓血管系に対する交感神経活動を調節)にグルタミン酸やGABA受容体阻害薬を投与し、三叉神経脊髄路核の電気刺激による血圧や耳介、腸間膜、腎、骨格筋の血流を測定して以下の結論を出した。1) 三叉神経脊髄路核刺激で血圧低下, 2) 血圧低下にRVLM, RPAは関与していない, 3) 血圧低下は腸間膜、腎、骨格筋血管の拡張による二次的な反応である。

勿論これで三叉神経刺激による血圧低下の反射弓、中枢機序が完全に解明されたわけではない。ネコで見られるTDRはRPAの破壊で消失するというMcCall et al (1987)の報告もある⁴⁷。同一麻酔薬(ウレタン等)を用いて舌神経を電気刺激した我々の実験では、三叉神経(舌神経を中枢性に)刺激の血圧に対する反応が動物の種により全く反対の反応を呈する事がしばしばである。そこで我々は同一麻酔、同一神経(舌神経)で同一の電気刺激条件、同一血流測定部位(下口唇)を用いて5種類の動物(イヌ、ネコ、ラット、ウサギ、モルモット)における三叉神経-交感神経反射反応(体幹血圧反応を指標)と三叉神経-副交感神経反射反応(口唇皮膚血管拡張反応を指標)を比較検討した(図7-1)⁴⁸。その結果、以下の事が判明した。舌神経刺激での1) 副交感神経性血管拡張はモルモット以外では全ての動物で起こる(同側下口

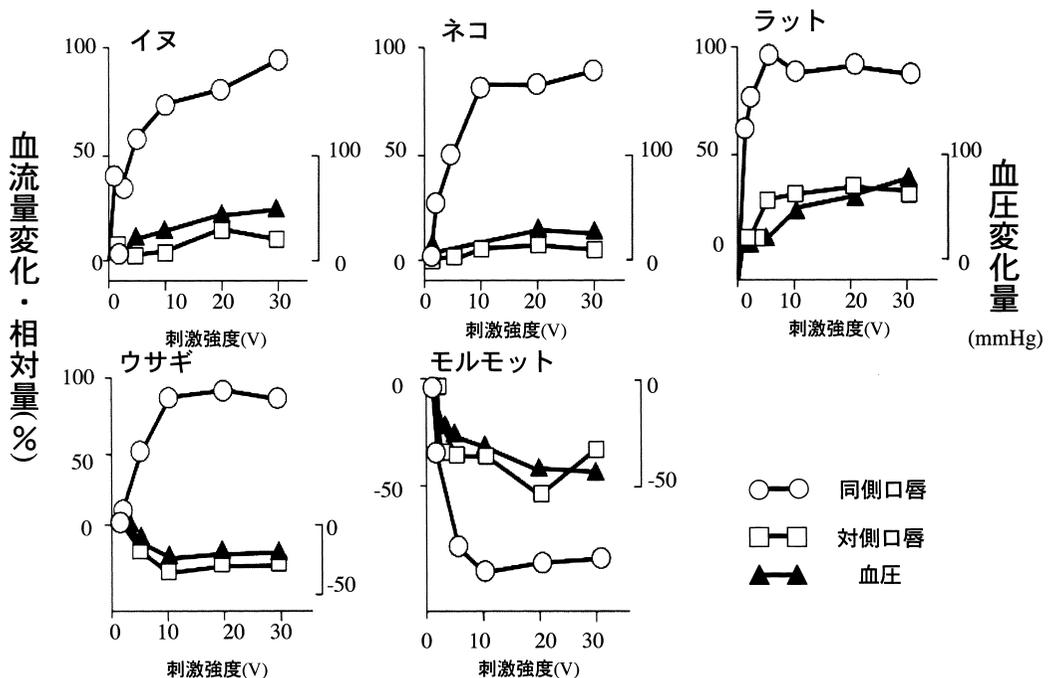


図7-1: イヌ、ネコ、ラット、ウサギ、モルモットの舌神経刺激で起こる副交感神経性血管拡張反応(下唇血管)と交感神経性体幹血圧の変化

唇血流増加), 2) 交感神経性血圧変動はイヌ, ラットでは上昇傾向, ネコでは上昇や下降, ウサギやモルモットは下降反応のみであった, 3) 対側下口唇血流は常に血圧反応と一致した. これらは副交感神経性血管拡張反応と交感神経性血圧変動には全く相関関係がなく, 別々の機序で起こっていることを意味している. 我々はこれまでに副交感神経性血管拡張反応を上記の5種類の動物以外にヒト, サルでも観察している. このことは三叉神経刺激による副交感神経性血管拡張反応は種に拘わらず起こる反応と推察される. モルモットで明瞭な副交感神経性血管拡張反応が観察されなかった理由として幾つか考えられるが最も可能性の高いのは, 舌神経刺激により下顎口唇を含めた顔面口腔領域で副交感神経性血管拡張反応が起こっているにも拘わらず同時に体幹血圧の下降反応が著しいために一見血流量(赤血球x流速)の低下現象を起こしているからでないかということである. これを支持するものとしては対側血流量と同側血流量の違いがある. 対側下唇血管に比べて同側下唇血管は拡張しているが, これに血圧低下が起こるために血流量の低下が対側よりも著しく大きくなるのではないかと考えている. レーザードップラー血流計による血流量の測定は原理的に単位時間当たりの血球数を測定しているためにこのような現象を起こしている可能性が高い. しかしモルモットに関してはより詳細な検討が必要と考えられる.

第八章：おわりに

私は2003年2月から北海道医療大にお世話になるようになりました. 今回の総説の多くは東北大学での仕事です. こちらに来て早くも2年近くが経過しました. 口腔生理学の教室員, 歯学部の教職員の皆様の暖かいご支援のおかげで研究生活を楽しく続けさせていただいております.

す.

私がこれまでに共同研究者と一緒に行った顔面口腔領域での血管運動に関する研究を部位別(図8-1)と概要別(図8-2)で示すと以下の通りである: 1) 下歯槽神経刺激での下顎口唇血管反応^{23,24}, 2) 脳神経根の刺激および三叉神経節刺激による下顎口唇血管反応^{30,49,50}, 3) 顔面口腔領域での副交感神経性血管拡張線維の存在の証明と副交感神経性血管拡張機序^{25-27,29,31,51-60}, 4) 交感神経の血管反応に対する役割¹⁻⁷, 5) 反射性副交感神経性血管拡張反応の中枢機序^{34,35,50}, 6) 反射性副交感神経性血管拡張反応および交感神経性血圧反応の動物間の相違^{48,61}, 7) ヒト皮膚での血管反応(軸索反射)⁶²⁻⁶⁴, 8) 唾液腺における血管反応と唾液分泌反応^{1,2,65-72}, 9) 眼に関する研究⁷³⁻⁷⁶, 10) 麻酔薬やカルシウム拮抗薬に関する研究⁷⁷⁻⁸², 11) 歯髄, 歯根膜, 舌, 鼻粘膜に関する研究^{28,83-90}. これらの研究内容は他の総説を参照頂きたい^{18,79,91-93}.

現在, 研究テーマの一つとして咀嚼筋血管の自律神経支配の研究を行っている. 咀嚼筋は四肢筋と同様骨格筋である. 骨格筋血管の自律神経支配は, その存在, 生理的意義が未解決な点が多い血管である. 一般的に四肢筋の骨格筋血管には交感神経性の収縮線維と拡張線維が報告されている. 前述したように交感神経性収縮線維は全身の末梢血管に存在しているが, 交感神経性血管拡張線維は非常に珍しく骨格筋血管にのみ報告されている線維である. 解剖学的に四肢筋を副交感神経性に神経支配することはないことから, 神経性に骨格筋血管を拡張する神経を交感神経性血管拡張線維と考えた. しかしこの交感神経性血管拡張線維の存在はネコ骨格筋の血管でのみ証明されているだけで, ヒトを含めて他の種では報告がない. 即ち四肢筋血管は主として運動後の代謝産物により血管拡張反応を起こし, 神経性に強く神経支配を受けていな

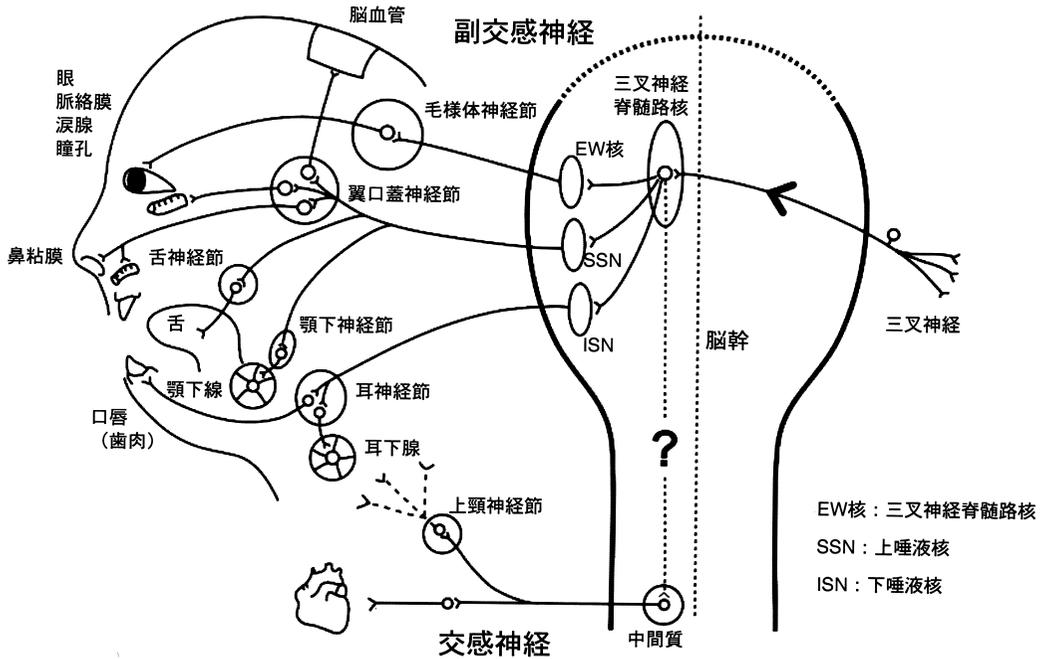


図8-1：これまで研究してきた三叉神経-自律神経反射の部位

いことを意味している。近年、我々はこの四肢筋血管とは異なり、咀嚼筋である咬筋の血管に副交感神経性血管拡張線維の存在を発見した。これらの実験から咀嚼筋血管は四肢筋血管と異なり神経支配、特に副交感神経支配を受けていることが判明した。現在この副交感神経性血管拡張線維の1) 性質, 2) 節前, 節後細胞体の起始, 3) 閉口筋, 開口筋での相違, 4) 上位中枢からの制御, 5) 交感神経との関連, 6) ストレスとの関連等について詳細に検討を加えて副交感神経性血管拡張線維の生理的役割について明らかにしたいと考えている。

私も大学院を含めると約35年近くの研究生活が経過しました。終着駅が近づいてくると“研究とは”と考えることが時々あるものです。そこで私のこれまでの経験から若い研究者に一言贈ろうと思います。私の研究生活は試行錯誤の35年だったと思っていますし、これからもそう

でしょう。決して上司や研究費に恵まれた順風満帆な研究生活ではありませんでした。これまでに一度も研究テーマを与えられた事ありませんし、研究費も雀の涙程度で論文の投稿代、学会参加や一部の試薬などを自費や自分で集めた研究費でまかなうという状況で、劣悪な研究環境であったと思っています。どうしてこんな状態でも研究生活をやめないで来られたかという、それは“研究の面白さ”にあるのではないのでしょうか。これを感じなくして研究生活は続けられないと思います。是非この“研究の面白さ”を味わいながら研究を続けてください。そして研究に夢(ロマン)を持っていてください。夢を持つことは人間にとって最高の喜びであり楽しみなのですから。人間は老いるのは年を取るためでなく、夢が無く(少なく)なることだからと思っています。何時か自分の研究が学問上でどこにあるのかが見えてくるでしょ

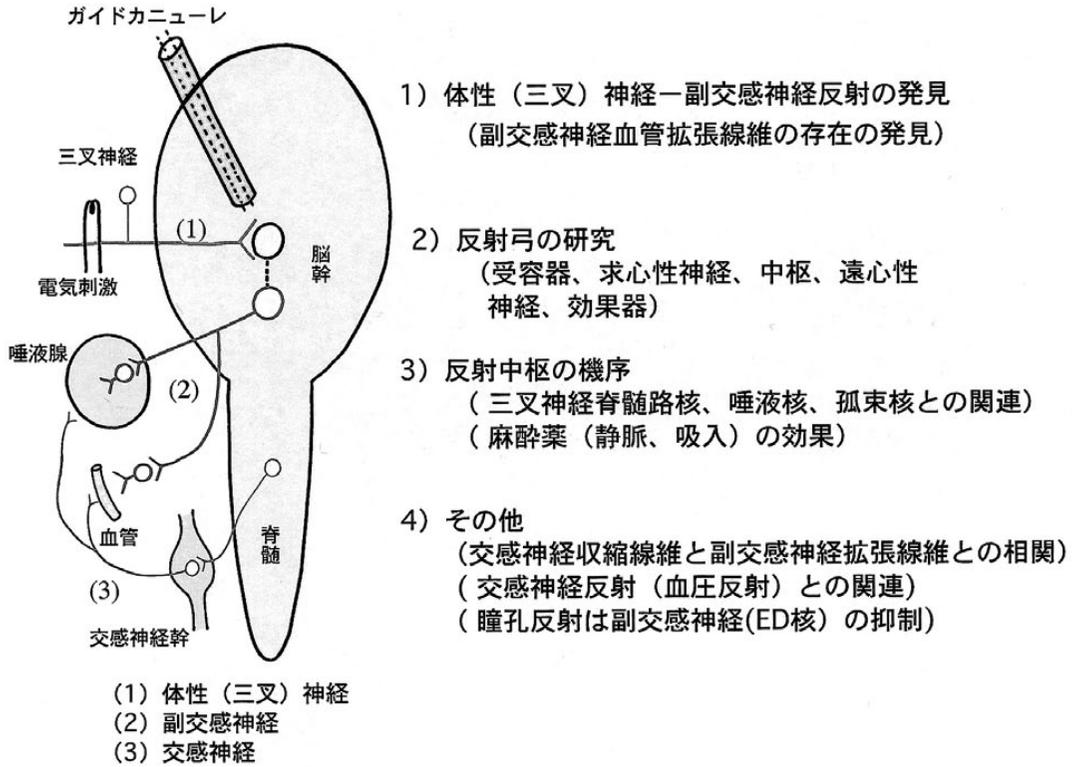


図8-2：これまでの研究の概要

う、譬えそれが小さいことであっても、そういう意味で若い研究者には「二番煎じはやるな」、「ユニークであれ」、「研究では大学院生も教授もなく平等」、「研究が好きになりなさい」、「偉くなるための研究ではない」、「実験を多くしなさい」と言いたい。自分の興味を大事に人のやらない事、考えられないような事を実験する方が将来は道が開けるのではないのでしょうか？ Number oneを狙うのではなく only oneの気持ちで研究には大事なようです。Only oneは孤独であっても何時か日の目を見る時があると信じて自己満足でいくしかない。本来個人の研究などは殆どの研究者には関係なく、ほんの一握りの研究者（将来を含めた）にとってしか参考になっていないのです。だから後々の研究者が再実験しないで済むような再現性のある信頼性のあるデータしか発表してはいけない義務があ

ります。研究とはそんなものではないだろうかと考えている今日この頃です。

もし何時の日かまたこのような総説を書かせて戴く機会があるならば、表8-1で示したようなヒトの顔色の変化がどのような機序で起っているのかを紹介したいと思っています。

表8-1 顔色（紅潮）の変化の機序は？

| | |
|---------------------|---------------|
| 1. 恥ずかしい | 副交感性血管 拡張 |
| 2. 体温上昇 | 末梢血管拡張 |
| 3. 試験の最中（集中して計算） | 副交感性血管 拡張 |
| 4. 蚊に食われた | 軸索反射性血管 拡張 |
| 5. 叩かれる | 軸索反射性血管 拡張 |
| 6. 授業中、急に当てられる | 副交感性血管 拡張 |
| 7. 風呂に長く入る | 末梢血管拡張 |
| 8. 逆立ち | 充血 |
| 9. 歯が痛い | 副交感性血管 拡張 |
| 10. 寒い日 | 軸索反射性血管 拡張 |
| 11. アルコールで発赤 | 軸索反射性血管 拡張 |
| 12. 星状神経節ブロック（交感神経） | 交感神経性血管収縮線維抑制 |

謝 辞

本稿を終えるに当たり、本総説を執筆する機会を与えて下さいました東日本歯学会関係各位に感謝申し上げます。本総説の作成に助力を頂いた口腔生理学教室の石井久淑講師、新岡丈治助手、須藤恵美大学院生に感謝致します。本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金（課題番号15591962）、文部科学省大学院高度化推進特別経費（平成15）、文部科学省研究高度化推進事業（学術フロンテア推進事業、平成15年度）、財団法人秋山記念生命科学振興財団（平成16年度）からの助成を受けました。

文 献

- Izumi, H., and Karita, K. : The vasodilator and secretory effects elicited by sympathetic nerve stimulation in cat submandibular gland. *J. Auton. Nerv. Syst.*, **48** : 143-151, 1994
- Izumi, H., and Karita, K. : Low-frequency subthreshold sympathetic stimulation augments maximal reflex parasympathetic salivary secretion in cats. *Am. J. Physiol.*, **268** : R1188-R1195, 1995.
- Izumi, H., and Ito, Y. : Sympathetic attenuation of parasympathetic vasodilatation in oro-facial areas in the cat. *J. Physiol. (Lond.)*, **510** : 915-921, 1998.
- Izumi, H. : Functional roles played by the sympathetic supply to lip blood vessels in the cat. *Am. J. Physiol.*, **277** : R682-689, 1999.
- Izumi, H., Nakamura, I. and Ishii, H. : Suppression of inferior alveolar nerve-induced vasoconstrictor response by ongoing cervical sympathetic nerve activity in cat. *Archs Oral Biol.*, **49** : 1035-1041, 2004.
- Karita, K., and Izumi, H. : Effect of baseline vascular tone on vasomotor responses in cat lip. *J. Physiol. (Lond.)*, **482** : 679-685, 1995.
- Murakami, M., Date, H., Karita, K., and Izumi, H. : Escape of parasympathetic vasodilatation from sympathetic attenuation in oro-facial areas in the cat. *Tohoku J. Exp. Med.*, **188** : 153-160, 1999.
- Blessing, W.W. : The lower brainstem and bodily homeostasis. New York. Oxford, Oxford University Press, Chapter 7. Eating and Metabolism : 232-372, 1997.
- Jordan, D. : Central Nervous Control of Autonomic Function. 1997.
- Koizumi, K., and Brooks, C. M. : The integration of autonomic system reactions : a discussion of autonomic reflexes, their control and their association with somatic reactions. *Ergeb. Physiol.*, **67** : 1-68, 1972.
- Loewy, A.R. and Spyer, K. M. Central Regulation of Autonomic Functions . New York, Oxford University Press, 1990.
- Sato, A. and Schmidt, R. F. : Somatosympathetic reflexes : afferent fibers, central pathways, discharge characteristics. *Physiol. Rev.*, **53** : 916-947, 1973.
- Sato, A., Sato, Y., and Schmidt, R. F. : The impact of somatosensory input on autonomic functions. *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol.*, **130** : 1-328, 1997.
- Victor, R. G., Leimbach, W., Jr., Seals, D.R., Wallin, B. G. and Mark, A. L. : Effects of the cold pressor test on muscle sympathetic nerve activity in humans. *Hypertension*, **9** : 429-436, 1987.
- Cummings, M. F., Steele, P.M., Mahar, L. J., Frewin, D. B. and Russell, W. J. : The role of adrenal medullary catecholamine release in the response to a cold pressor test. *Cardiovas. Res.*, **17** : 189-191, 1983.
- Posner, J., Telekes, A., Crowley, D., Phillipson, R. and Peck, A. W. : Effects of an opiate on cold-induced pain and the CNS in healthy volunteers. *Pain*, **23** : 73-82, 1985.
- Gibbins, I.L. : Autonomic pathways to cutaneous effectors. In : The Autonomic Nervous System. The Autonomic Innervation of the Skin, edited by J.L.Morris and I.L.Gibbins. Australia : Harwood Academic, 1997, vol.12, p1-56. 1997.
- Izumi, H. : Nervous control of blood flow in the orofacial region. *Pharmacol. Ther.*, **81** : 141-161, 1999.
- Bernard, C. : De l'influence de deux ordres de nerf qui determinant les variations de couleur du sang veineux des organes glandulaires. *C.R.Acad. Sci.*, **47** : 245-253, 1858.
- Gibbins, I. L., Brayden, J.E. and Bevan, J.A. : Perivascular nerves with immunoreactivity to vasoactive intestinal polypeptide in cephalic arteries of the cat : distribution, possible origins and functional implications. *Neuroscience*, **13** : 1327-46, 1984.
- Kaji, A., Shigematsu, H., Fujita, K., Maeda, T. and

- Watanabe, S. : Parasympathetic innervation of cutaneous blood vessels by vasoactive intestinal polypeptide — immunoreactive and acetylcholinesterase — positive nerves : histochemical and experimental study on rat lower lip. *Neuroscience*, **25** : 353—362, 1988.
22. Mione, M. C., Ralevic, V. and Burnstock, G. : Peptides and vasomotor mechanisms. *Pharmacol. Therap.*, **46** : 429—468, 1990.
23. Izumi, H. and Karita, K. : The effects of capsaicin applied topically to inferior alveolar nerve on antidromic vasodilatation in cat gingiva. *Neurosci. Lett.* **112** : 65—69, 1990.
24. Izumi, H., Kuriwada, S., Karita, K., Sasano, T. and Sanjo, D. : The nervous control of gingival blood flow in cats. *Microvasc. Res.*, **39** : 94—104, 1990.
25. Izumi, H. and Karita, K. : Selective excitation of parasympathetic nerve fibers to elicit the vasodilatation in cat lip. *J. Auton. Nerv. Syst.*, **37** : 99—107, 1992.
26. Izumi, H. and Karita, K. : Somatosensory stimulation causes autonomic vasodilatation in cat lip. *J. Physiol. (Lond.)*, **450** : 191—202, 1992.
27. Izumi, H. and Karita, K. : Reflex vasodilatation in the cat lip evoked by stimulation of vagal afferents. *J. Auton. Nerv. Syst.*, **42** : 215—223, 1993.
28. Izumi, H. and Karita, K. : Reflex vasodilatation in the cat lip elicited by stimulation of nasal mucosa by chemical irritants. *Am. J. Physiol.*, **265** : R733—R738, 1993.
29. Izumi, H. and Karita, K. : Innervation of the cat lip by two groups of parasympathetic vasodilator fibres. *J. Physiol. (Lond.)*, **465** : 501—512, 1993.
30. Izumi, H. and Karita, K. : Vasodilator responses following intracranial stimulation of the trigeminal, facial and glossopharyngeal nerves in the cat gingiva. *Brain Res.*, **560** : 71—75, 1991.
31. Kuchiiwa, S., Izumi, H., Karita, K., and Nakagawa, S. : Origins of parasympathetic postganglionic vasodilator fibers supplying the lips and gingivae ; an WGA — HRP study in the cat. *Neurosci. Lett.*, **142** : 237—240, 1992.
32. Kaji, A., Maeda, T. and Watanabe, S. : Parasympathetic innervation of cutaneous blood vessels examined by retrograde tracing in the rat lower lip. *J. Auton. Nerv. Syst.*, **32** : 153—158, 1991.
33. Bloom, F. E. : 新脳の探検上, 下. 中村克樹, 久保田競 (監訳) 講談社 (BLUE BACKS), 2004.
34. Mizuta, K., Kuchiiwa, S., Saito, T., Mayanagi, H., Karita, K. and Izumi, H. : Involvement of trigeminal spinal nucleus in parasympathetic reflex vasodilatation in cat lower lip. *Am. J. Physiol.*, **282** : R492—500, 2002.
35. Mizuta, K. and Izumi, H. : Bulbar pathway for contralateral lingual nerve — evoked reflex vasodilatation in cat palate. *Brain Res.*, **1020** : 86—94, 2004.
36. Kelly, J. S. and Renaud, L. P. : On the pharmacology of ascending, descending and recurrent postsynaptic inhibition of the cuneo — thalamic relay cells in the cat. *Br J Pharmacol.*, **48** : 396—408, 1973.
37. Lindsey, C. J., Buck, H. S., Fior — Chadi, D. R. and Lapa, R. C. : Pressor effect mediated by bradykinin in the paratrigeminal nucleus of the rat. *J. Physiol. (Lond.)*, **502** : 119—129, 1997.
38. Ren, K., Randich, A. and Gebhart, G. F. : Electrical stimulation of cervical vagal afferents. I. Central relays for modulation of spinal nociceptive transmission. *J. Neurophysiol.*, **64** : 1098—1114, 1990.
39. 豊田 晃行 : 三叉神経刺激の血圧に及ぼす影響に関する実験的研究 (1). *日本生理学雑誌*, **9** : 777—786, 1910.
40. Dellow, P. G. and Morgan, M. J. : Trigeminal nerve inputs and central blood pressure change in the cat. *Arch Oral Biol.*, **14** : 295—300, 1969.
41. Kumada, M., Dampney, R. A. and Reis, D. J. : The trigeminal depressor response : a cardiovascular reflex originating from the trigeminal system. *Brain Res.*, **92** : 485—489, 1975.
42. Kumada, M., Dampney, R. A. and Reis, D. J. : The trigeminal depressor response : a novel vasodepressor response originating from the trigeminal system. *Brain Res.*, **119** : 305—326, 1977.
43. Kumada, M., Dampney, R. A., Whitnall, M. H. and Reis, D. J. : Hemodynamic similarities between the trigeminal and aortic vasodepressor responses. *Am. J. Physiol.*, **234** : H67—73, 1978.
44. Blessing, W. W., Yu, Y. H. and Nalivaiko, E. : Raphe pallidus and parapyramidal neurons regulate ear pinna vascular conductance in the rabbit. *Neurosci. Lett.*, **270** : 33—36, 1999.
45. Blessing, W. W. and Nalivaiko, E. : Cutaneous vascular bed is not involved in arterial pressure changes elicited by increasing or decreasing the activity of inhibitory vasomotor neurons in caudal ventrolateral medulla in rabbits. *Neurosci. Lett.*, **290** : 141—144, 2000.
46. Blessing, W. W. and Nalivaiko, E. : Regional blood flow and nociceptive stimuli in rabbits : patterning by me-

- dullary raphe, not ventrolateral medulla. *J. Physiol.* (Lond.), **524** : 279–292, 2000.
47. McCall, R. B. and Harris, L. T. : Sympathetic alterations after midline medullary raphe lesions. *Am. J. Physiol.*, **253** : R91–R100, 1987.
48. Koeda, S., Yasuda, M. and Izumi, H. : Species differences in the reflex effects of lingual afferent nerve stimulation on lip blood flow and arterial pressure. *J. Comp. Physiol. [B]*, **173** : 629–636, 2003.
49. Date, H., Kato, M. and Izumi, H. : Involvement of two different mechanisms in trigeminal ganglion – evoked vasodilatation in the cat lower lip : role of experimental conditions. *J. Auton. Nerv. Syst.*, **79** : 84–92, 2000.
50. Izumi, H., Date, H., Mizuta, K., Nakamura, I. and Kuchiiwa, S. : Reduction in parasympathetic reflex vasodilatation following stereotaxic ear – bar insertion : importance of reduced afferent input. *Brain Res.*, **961** : 53–62, 2003.
51. Izumi, H. and Karita, K. : The parasympathetic vasodilator fibers in the trigeminal portion of the distal lingual nerve in the cat tongue. *Am. J. Physiol.*, **266** : R1517–22, 1994.
52. Izumi, H., Takahashi, H., and Karita, K. : Pentylene-tetrazole – induced parasympathetic blood flow increase in the lower lip of the cat. *Eur. J. Pharmacol.*, **273** : 299–302, 1995.
53. Izumi, H., Sato, M., Karita, K., and Iwatsuki, N. : Blood flow increases in common carotid artery, lower lip and palate elicited by lingual nerve stimulation in anesthetized cats. *J. Auton. Nerv. Syst.*, **62** : 167–173, 1997.
54. Karita, K., and Izumi, H. : Innervation areas of afferents and efferents in somato – autonomic vasodilator reflex in the oro – facial areas in the cat. *Pain Res.*, **7** : 105–114, 1992.
55. Karita, K., and Izumi, H. : Somatosensory afferents in the parasympathetic vasodilator reflex in cat lip. *J. Auton. Nerv. Syst.*, **39** : 229–234, 1992.
56. Karita, K. and Izumi, H. : Dual afferent pathways of vasodilator reflex induced by lingual stimulation in the cat. *J. Auton. Nerv. Syst.*, **45** : 235–240, 1993.
57. Karita, K., Takahashi, H., Yasui, T. and Izumi, H. : Effects of the autonomic ganglion blocking agent hexamethonium on vasodilator responses mediated by the parasympathetic ganglion on the chorda tympani pathway of the cat. *J. Auton. Nerv. Syst.*, **52** : 65–70, 1995.
58. Sato, M., Izumi, H., Karita, K. and Iwatsuki, N. : Comparative effects of lingual and facial nerve stimulation on intracranial and extracranial vasomotor responses in anesthetized cats. *Tohoku J. Exp. Med.*, **182** : 103–113, 1997.
59. Suzuki, H., Iwatsuki, N., Karita, K. and Izumi, H. : Involvement of nitric oxide in parasympathetic and antidromic vasodilatations in cat lower lip. *Tohoku J. Exp. Med.*, **191** : 59–70, 2000.
60. Yasuda, M. and Izumi, H. : Trigeminal nerve – mediated reflex arterial blood pressure decrease and vasodilatation in lower lip of the rabbit. *Brain Res.*, **987** : 59–66, 2003.
61. Izumi, H., Mizuta, K. and Kuchiiwa, S. : Simultaneous measurement of parasympathetic reflex vasodilator and arterial blood pressure responses in the cat. *Brain Res.*, **952** : 61–70, 2002.
62. Izumi, H., Kuriwada, S. and Karita, K. : Axon reflex vasodilatation. *東北歯学雑誌*, 101 : 159–175, 1988.
63. Izumi, H., and Karita, K. : Investigation of mechanisms of the flare and wheal reactions in human skin by band method. *Brain Res.*, **449** : 328–331, 1988.
64. Izumi, H. and Karita, K. : Axon reflex vasodilatation in human skin measured by a laser Doppler technique. *Jpn. J. Physiol.*, **41** : 693–702, 1991.
65. Izumi, H. and Karita, K. : Axon reflex flare evoked by nicotine in human skin. *Jpn. J. Physiol.*, **42** : 721–730, 1992.
66. Izumi, H. and Karita, K. : Parasympathetic – mediated reflex salivation and vasodilatation in the cat submandibular gland. *Am. J. Physiol.*, **267** : R747–R753, 1994.
67. Izumi, H. and Karita, K. : Salivary secretion in cat submandibular gland mediated by chorda tympani afferents. *Am. J. Physiol.*, **268** : R438–R444, 1995.
68. Izumi, H., Nakamura, I. and Karita, K. : Effects of clonidine and yohimbine on parasympathetic reflex salivation and vasodilatation in cat SMG. *Am. J. Physiol.*, **268** : R1196–R1202, 1995.
69. Mizuta, K., Karita, K. and Izumi, H. : Parasympathetic reflex vasodilatation in rat submandibular gland. *Am. J. Physiol.*, **279** : R677–R683, 2000.
70. 和泉博之, 刈田啓史郎. : ネコ顎下腺における反射性唾液分泌, 血管拡張反応について. *自律神経*, 32 : 297–302, 1995.
71. Sato, A., Izumi, H., Nakamura, I. and Karita, K. : Differences in parasympathetic vasodilator and salivary responses in the cat submandibular gland between lingual

- and chorda—lingual nerve stimulation. *J. Dent. Res.*, **80** : 484—489, 2001.
72. Takahashi, H., Izumi, H. and Karita, K. : Parasympathetic reflex salivary secretion in the cat parotid gland. *Jpn. J. Physiol.*, **45** : 475—490, 1995.
73. Abe, S., Karita, K., Izumi, H. and Tamai, M. : Increased and decreased choroidal blood flow elicited by cervical sympathetic nerve stimulation in the cat. *Jpn. J. Physiol.*, **45** : 347—353, 1995.
74. Naito, A., Izumi, H., Karita, K. and Tamai, M. : Effects of a beta—adrenergic blocking agent timolol on intraocular pressure responses induced by stimulation of cervical sympathetic nerve in the cat. *Tohoku. J. Exp. Med.*, **195** : 219—225, 2001.
75. Nakanome, Y., Karita, K., Izumi, H., and Tamai, M. : Two types of vasodilatation in cat choroid elicited by electrical stimulation of the short ciliary nerve. *Exp. Eye Res.*, **60** : 37—42, 1995.
76. Yasui, T., Karita, K., Izumi, H. and Tamai, M. : Correlation between vasodilatation and secretion in the lacrimal gland elicited by stimulation of the cornea and facial nerve root of the cat. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, **38** : 2476—2482, 1997.
77. Ito, Y., Izumi, H., Sato, M., Karita, K. and Iwatsuki, N. : Suppression of parasympathetic reflex vasodilatation in the lower lip of the cat by isoflurane, propofol, ketamine and pentobarbital : implications for mechanisms underlying the production of anaesthesia. *Br. J. Anaesth.*, **81** : 563—568, 1998.
78. Izumi, H., Mori, H., Uchiyama, T., Kuwazuru, S., Ozima, Y., Nakamura, I. and Taguchi, S. : Sensitization of nociceptive C—fibers in zinc—deficient rats. *Am. J. Physiol.*, **268** : R1423—R1428, 1995.
79. Izumi, H. : Reflex parasympathetic vasodilatation in facial skin. *Gen. Pharmacol.*, **26** : 237—244, 1995.
80. Izumi, H., Ito, Y., Sato, M., Karita, K. and Iwatsuki, N. : Effects of inhalation anesthetics on parasympathetic reflex vasodilation in the lower lip and palate of the cat. *Am. J. Physiol.*, **273** : R168—R174, 1997.
81. Izumi, H. and Ito, Y. : Correlation between degree of inhibition of parasympathetic reflex vasodilation and MAC value for various inhalation anesthetics. *Gen Pharmacol.*, **32** : 689—693, 1999.
82. Izumi, H. and Nakamura, I. : Nifedipine—induced inhibition of parasympathetic—mediated vasodilation in the orofacial areas of the cat. *Am. J. Physiol.*, **279** : R332—R339, 2000.
83. Karita, K., Izumi, H., Tabata, T., Kuriwada, S., Sasano, T. and Sanjo, D. : The blood flow in the periodontal ligament regulated by the sympathetic and sensory nerves in the cat. *Proc. Finn. Dent. Soc.*, **85** : 289—294, 1989.
84. Karita, K., and Izumi, H. : Reflex vasodilatation in cat lower lip elicited by noxious stimulation of the nasal mucosa. *Pain Res.*, **9** : 95—98, 1994.
85. Sasano, T., Kuriwada, S., Sanjo, D., Izumi, H., Tabata, T. and Karita, K. : Acute response of periodontal ligament blood flow to external force application. *J. Periodontal Res.*, **27** : 301—304, 1992.
86. Sasano, T., Kuriwada, S., Shoji, N., Sanjo, D., Izumi, H. and Karita, K. : Axon reflex vasodilatation in cat dental pulp elicited by noxious stimulation of the gingiva. *J. Dent. Res.*, **73** : 1797—1802, 1994.
87. Sasano, T., Shoji, N., Kuriwada, S., Sanjo, D., Izumi, H., and Karita, K. : Absence of parasympathetic vasodilatation in cat dental pulp. *J. Dent. Res.*, **74** : 1665—1670, 1995.
88. Sasano, T., Shoji, N., Kuriwada, S., Sanjo, D., Izumi, H., and Karita, K. : Direct evidence of parasympathetic vasodilatation in cat periodontal ligament. *J. Periodontal Res.*, **31** : 556—562, 1996.
89. Sasano, T., Shoji, N., Kuriwada—Satoh, S., Iikubo, M., Izumi, H., and Karita, K. : Dependence of pulpal blood—flow responses on baseline blood—flow in the cat. *Archs Oral Biol.*, **47** : 131—137, 2002.
90. Satoh—Kuriwada, S., Sasano, T., Date, H., Karita, K., Izumi, H., Shoji, N. and Hashimoto, K. : Centrally mediated reflex vasodilation in the gingiva induced by painful tooth—pulp stimulation in sympathectomized human subjects. *J. Periodontal Res.*, **38** : 218—222, 2003.
91. 和泉博之：顔面領域での反射性副交感神経を介した血管拡張反応について。循環制御，16：322—330，1995。
92. 和泉博之：自律神経研究における麻酔薬選択の重要性。循環制御，18：341—351，1997。
93. 和泉博之：顔面口腔領域での副交感神経血管拡張反応について。東北歯学雑誌，23：11—25，2004。

〔ORIGINAL〕

Development of a safe and quick method for removal of intermaxillary fixation with superelastic Ni – Ti wire

Masaru KUDO, Takuro KAWAI, Atsue YAMAZAKI¹⁾, Shigeru UGA¹⁾, Hanako OHKE,
Masahiro KOKUBU, Itaru MIZOGUCHI¹⁾, Noboru SHINYA

Department of Dental Anesthesiology,
School of Dentistry, Health Sciences University of Hokkaido
¹⁾Department of Orthodontics,
School of Dentistry, Health Sciences University of Hokkaido

Abstract

To improve emergency intermaxillary fixation release, a novel method of intermaxillary fixation, in which super-elastic nickel-titan (Ni-Ti) alloy wires were applied at 2 places (Method A) was developed. Method A was compared to the previous method (Method B : fixing the jaw at 3 places with stainless steel wires), in terms of the time required to remove the wires and the number of pieces of cut wire left in the oral cavity and pharynx. The average time for removing the wires was 14.5 ± 9.9 (mean \pm SD) seconds for Method A, and 79.1 ± 53.1 seconds for Method B. The average time was significantly shorter in Method A than in Method B ($p < 0.01$). The number of pieces of cut wire left was zero with Method A. These findings suggest that the novel method (Method A) provides quick and safe wire removal and improves the safety and quality of dentistry in emergency cases.

Key words : Intermaxillary fixation release, Ni-Ti alloy wire, Dental anesthesia, Oral and orthognathic surgery, Emergency in dentistry

I . Introduction

The application of intermaxillary fixation with stainless steel wire is generally performed in orthognathic surgery after operations under general anesthesia. However, after the patients awake from general anesthesia, there is the possibility of airway obstruction due to depression of the tongue base and swelling of the pharynx, and emergencies, such as postoperative nausea and vomiting (PONV) may occur. Under these conditions, it is necessary to quickly and reliably cut and remove the fixing wires to release the intermaxillary fixation and secure the upper airway. We have previously encountered a situation, where a patient experienced upper airway obstruction 15 minutes after awaking from $N_2O \cdot O_2 \cdot$ Sevoflurane anesthesia and extubation. We released the intermaxillary fixation and performed reintubation, but during the procedure, the patient accidentally aspirated a short piece of cut wire¹⁾. Subsequently, we have investigated

受付：平成16年9月29日

ways to improve the safety and quality of dental, oral and maxillofacial surgery. We have developed a safe intermaxillary fixation method with Ni-Ti alloy wires, in which intermaxillary fixation can easily be released and no pieces of cut wire are left behind in the mouth. In the present study, we used a model to compare our novel method to another conventional intermaxillary fixation method, in terms of safety and ease of release of intermaxillary fixation.

II. Materials and methods

1 Preparation of an intermaxillary fixation model

An model for intermaxillary fixation was prepared by covering a dentition model (Dental Study Model 500A, Nisshin Inc.) with a bag-shaped silicone model of the lips, cheeks and pharyngeal mucosa, and by inserting the model into a plastic container (77mm high, 86mm wide, and 100mm deep)(Fig.1).

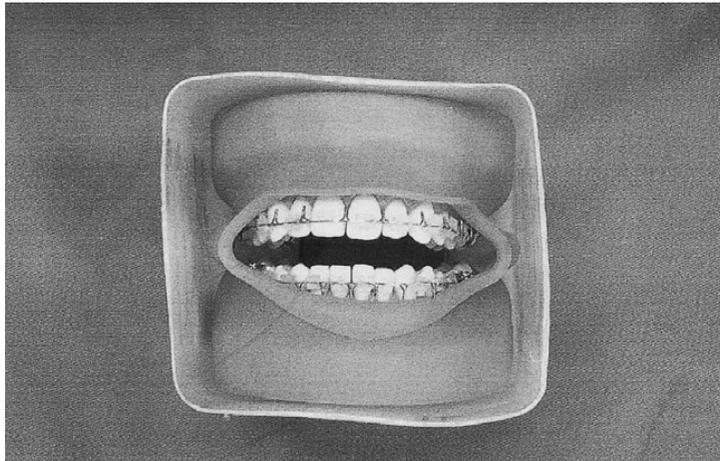


Fig.1 Intermaxillary fixation model

An intermaxillary fixation model was prepared by covering a dentition model (Dental Study Model 500A, Nisshin Inc.) with a bag-shaped silicone model of the lips, cheeks and pharyngeal mucosa, and by inserting the model into a plastic box.

2 Intermaxillary fixation

One orthodontist (AY), certified by the Japanese Orthodontic Society, performed the following two intermaxillary fixation methods. In Method A, two nickel-titanium alloy wires (diameter : 0.23 mm, Super-elastic Ni-Ti alloy wires²⁾) were used to fix the jaw at two places (left and right maxillary and mandibular regions), and the ends of the wires were placed outside the mouth. Loop-shaped super-elastic Ni-Ti alloy wires, which were naturally straight, connected to either surgical hooks attached to the incisal and molars or surgical brackets attached to the left and right maxillary and mandibular regions. Also, an auxiliary wire was attached to the left and right sides, and the two auxiliary wires were bundled into a single wire and placed outside the mouth (Fig.2).

In Method B, the methods of Posnik JC³⁾ were modified, intermaxillary fixation were achieved at 3

places (the anterior and left and right molar regions) using stainless steel wires (0.4 mm diameter)(Fig.3).

3 Operators for wire release

The intermaxillary fixation was released by 11 full-time staff (6 male and 5 female ; average age, 38.9 ± 9.0 years), who were informed of the objective of the present study. They were 8 dentists (4 oral surgeons [2 certified by the Japanese Society of Oral and Maxillofacial Surgeon], 2 orthodontists certified by the Japanese Orthodontic Society, 2 dental anesthesiologists certified by the Japanese Dental Society of Anesthesiology), and 3 nurses with more than 10 years of nursing experience.

4 Fixation release

The intermaxillary fixation model was placed on a desk in a room with fluorescent lights between the hours of 17:00 and 21:00. There was no use of spot lights. The removal of intermaxillary fixation wire in an emergency in hospital ward at night was assumed. Each operator was instructed to release the intermaxillary fixation using How-pliers and wire cutters placed on the desk. During this procedure, the operators were prohibited from removing the model from the plastic container or moving the model in the left, right, up or down directions.

5 Assessments

1) The amount of time required to release intermaxillary fixation and removal of the wires(time for removing fixation wires)

The operators were asked to sit at the desk on which the model had been placed. At a start signal, they began releasing the intermaxillary fixation and removing the wires. The operators were instructed to say out loud, "I am done." when they had completed the procedure. The time was measured by one of the authors.

2) The number of pieces of cut wire in the pharynx, mouth and appliance, and outside the mouth

After removal of the model (including the silicone lip, cheek and pharyngeal mucosa model) from the plastic case, we counted the number of pieces of cut wire in the oral cavity and pharyngeal mucosa and outside the mouth. The operators were not allowed to pick up pieces of cut wire that fell during the procedure of the fixation release.

a) Number of pieces of cut wire in the mouth and pharyngeal mucosa

The number of pieces of cut wire in the silicone lips, buccal mucosa, and pharyngeal mucosa was counted.

b) Number of pieces of cut wire in the fixation appliance

The number of pieces of cut wire in the appliance was counted.

c) Number of pieces of cut wire outside the mouth

The number of pieces of cut wire that fell outside the mouth was counted.

6 Statistical analysis

Analyses were performed with Ystat 2004 (Igakutosho). Differences between the two methods were compared by the Willcoxon's signed rank test. The significance level was set at less than 5%.

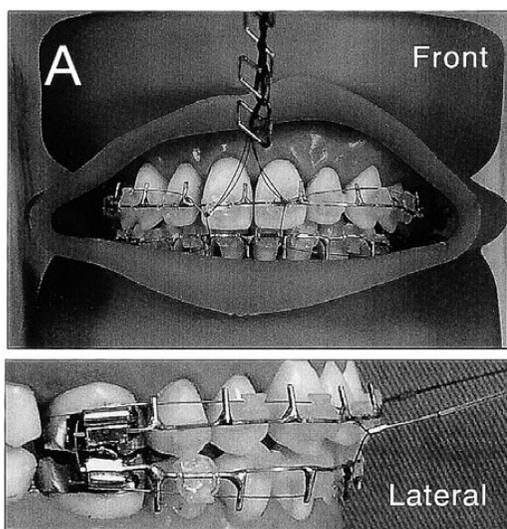


Fig.2 Intermaxillary fixation method A
The figure shows photographs of the Intermaxillary fixation method A. Two nickel-titanium wires are used to wire the jaw at 2 places on the left and right sides. The excess wires and auxiliary wires are placed outside the mouth so that they can easily be removed.

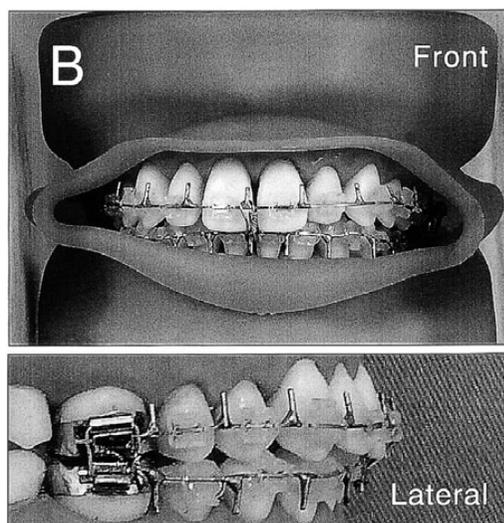


Fig.3 Intermaxillary fixation method B
The figure shows photographs of the intermaxillary fixation method B. The current method is to wire the jaw at 3 pieces : anterior region and left and right molar regions. In the molar regions, the wire is inserted inside a tube, as shown in the lower picture.

III. Results

1 Time required to remove fixation wires

The average amount of time required to remove the fixation wires was 14.5 ± 9.9 (mean \pm SD) seconds for Method A (range ; 4 – 35), and 79.1 ± 53.1 seconds for Method B (range ; 31 – 230). The amount of time required to remove the fixation wires was statistically significantly shorter for Method A ($p < 0.01$) (Fig.4).

2 Numbers of pieces of cut wire in the pharynx, mouth and appliance, and outside the mouth

1) Number of pieces of cut wire in the mouth and pharyngeal mucosa

The numbers of pieces of cut wire in the mouth and pharyngeal mucosa was zero for Method A and 0.3 ± 0.6 for Method B, this was not a statistically significantly different (Fig.5).

2) Number of pieces of cut wire in the appliance

The number of pieces of cut wire in the appliance was zero for Method A and 0.3 ± 0.6 for Method B. There was no statistically significant intergroup differences between the two methods.

3) Number of pieces of cut wire outside the mouth

The number of pieces of cut wire that fell outside the mouth in both Methods was zero.

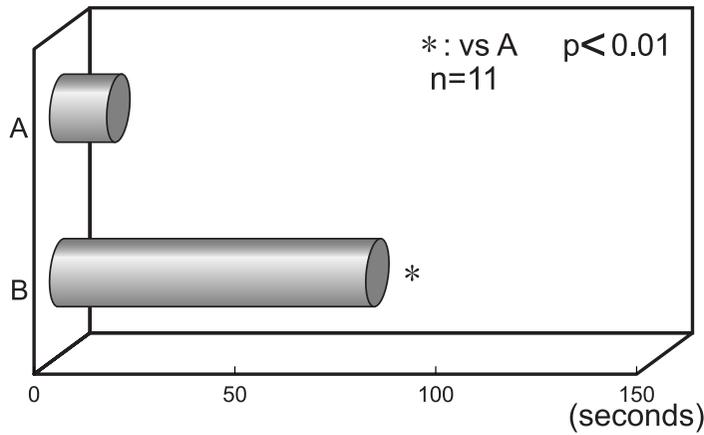


Fig.4 Time required for release of intermaxillary fixation

This graph was average time required for release of intermaxillary fixation. Method A amount of time required to remove the fixation wires was 14.5 ± 9.9 (mean \pm 9SD, range ; 4–35) seconds. Method B : 79.1 ± 53.1 (range ; 31–230) seconds. The amount of time required to remove the fixation wires was significantly less for Method A than for the other method (p < 0.01).

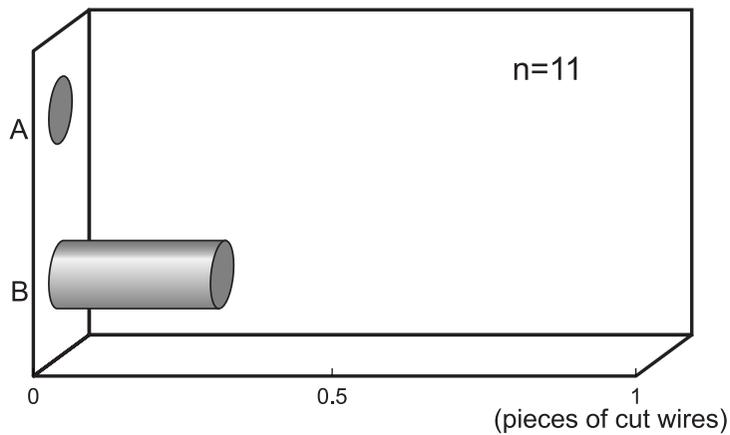


Fig.5 The number of pieces of cut wires remaining in mouth and pharynx after intermaxillary fixation release

The number of pieces of cut wire in the mouth and pharyngeal mucosa was zero for Method A and 0.3 ± 0.6 (mean \pm SD) for Method B. There was no significant difference between Methods A and B (p < 0.05).

IV. Discussion

The present results showed that our novel method (Method A) is a safe intermaxillary fixation technique, because the fixative wires could be removed in a short period of time and as no pieces of cut wire are left behind in the mouth or pharynx. When cutting and removing the wires, while holding the end of the auxiliary wire using pliers, cutting the left and right wires together at a single location causes the wires to straighten, allowing them to be removed from the appliance in one piece. This makes it possible to remove the wires in a short period of time and avoid leaving behind short pieces of cut wire, which could

enter the trachea and bronchi. The time to remove the fixation wires was less for Method A, indicating that Method A is less dangerous than Method B. At our hospital (attached to the Dentistry, Health Sciences University of Hokkaido), following orthognathic surgery, intermaxillary fixation was previously performed using the old standard method, in which all teeth are fixed, and intermaxillary fixation is achieved at 7 places using stainless steel wires(diameter : 0.3mm)⁴⁾. Extubation of the endotracheal tube was performed after patients awoke from general anesthesia that was maintained using oxygen, nitrous oxide, and sevoflurane. One of our patients experienced upper airway obstruction 15 minutes after extubation. Consequently, the intermaxillary fixation was released and intubation was performed again, but the patient accidentally aspirated a piece of cut wire that was created during the wire removal procedure¹⁾. Subsequently, we investigated ways to improve the safety and ease of fixation release and wire removal, and developed Method A using nickel-titanium alloy wires.

Although there have been several reports concerning medical accidents after the release of intermaxillary fixation at other institutions⁵⁾, and several studies on the characteristics of various intermaxillary fixation methods^{6,7)}, there have been no studies of the safety and ease of wire removal comparing different methods using a model. Tamari et al.⁸⁾ reported an intermaxillary fixation method in which patients can release the fixation appliance on their own in an emergency situation. The amount of time required for release of intermaxillary fixation depends on several factors, such as the degree of body movement, body position, swelling, amount of vomit in the mouth, room lighting, and availability of suction apparatus. The present results suggest that the safe release of intermaxillary fixation may take a long period of time. To promote safety associated with intermaxillary fixation, it is necessary to educate staff concerning rapidity and safe release of intermaxillary fixation in emergency cases such as PONV or upper airway obstruction.

V. Conclusion

Using a simulation model for fixation and removal of the fixative wire, the time for removal of the fixation wires and the number of pieces of cut wire in the mouth and pharynx were compared for two intermaxillary fixation methods. In a novel method with Ni-Ti wires (Method A), wires could be removed in a shorter period of time without causing pieces of cut wire to be left behind in the mouth and pharynx, than with a previous method (Method B). These results indicate that the established novel method provides a quick and safe removal of intermaxillary fixation.

References

- 1) Watanabe K, Kudo M, Ohke H, Kawakami J, Egami F, Muto T, Kanazawa M, Shibata T, Arisue M, Kawai T, Kokubu M, Shinya N : A case of upper airway obstruction and foreign body aspiration after sagittal split ramus osteotomy and inter-maxillary fixation. Higashi Nippon Dent J. 20(1) : 47-53, 2001.
- 2) Tomitsuka K, Yoshimasu H, Tanaka N, Shioiri S, Shioda S, Yoneyama T, Hamanaka H : Development of super-elastic Ni-Ti alloy wire for intermaxillary fixation of orthognathic surgery. Jpn.J.Oral Maxillofac. Surg 38(2) : 309-310, 1992.
- 3) Posnick JC : Facial Fractures in the Pediatric Patient, Fundamentals of Maxillofacial Surgery . Springer : 215-223, 1996.
- 4) Thoma KH : Fractures of mandible, Oral surgery fifth, Mosby : 524-571, 1969.
- 5) Fisher SE : Respiratory/cardiac arrest complicating intermaxillary fixation. Br J Oral Surg 20(3) : 192-195, 1982.
- 6) Goss AN, Chau KK, Mayne LH : Intermaxillary fixation : how practicable is emergency jaw release?. Anaesth Intensive Care 7(3) : 253-257, 1979.
- 7) Hennes JA, Wallen TR, Bloomquist DS, Crouch DL : Stability of simultaneous mobilization of the maxilla and mandible utilizing internal rigid fixation. Int J Adult Orthodon Orthognath Surg 3(3) : 127-141, 1988.
- 8) Tamari K, Shiratsuchi Y, Yokota S : An easily and immediately releasable intermaxillary fixation appliance for use after the correction of surgical orthognathic cases of jaw deformity or fracture. Journal of the Japanese Orthodontic Society 47 : 811-814, 1988.

[ORIGINAL]

The electrical change on the papilla parotidea by tongue stimulation and by injection of collected saliva

Koshiro INOMATA¹⁾, Hisayoshi ISHII¹⁾, Isao OOTA²⁾ and Masashi KURAHASHI³⁾

¹⁾Department of Oral Physiology, School of Dentistry

²⁾Department of Communication Disorders, School of Psychological Science

³⁾Department of Medical Science, School of Nursing & Social Services
Health Sciences University of Hokkaido

ABSTRACT

The amplitude of the electrical change from parotidea areas with tongue stimulation shows various amplitudes i.e. the amplitude of the electrical change from the papilla parotidea have been shown as 18 mV, but six other records (three from the mucous membrane around the papilla parotidea, and three from the cutis over the parotidea gland) show it to be under 0.8 mV. When the stimulated saliva was flowing through the system hear, the time till culmination of the electrical change, which was recorded from near the papilla parotidea was shorter than the time till culmination far from the papilla parotidea. The saliva which evoked the higher electrical change was collected, and about 4 minutes after the stimulation (when the electrical level of the papilla parotidea had returned to the before stimulation (resting) level), this collected saliva was injected into a Carlson type cup. The electrical change evoked by this injection and the amplitudes of the evoked electrical charge were 75~90% of the amplitude of the electrical change by tartaric acid stimulation.

Key words : electrical change, papilla parotidea, tongue, saliva

INTRODUCTION

Electrical phenomena accompanying the process of salivary secretion from glands in animals were first described Bayliss and Bradford¹⁾ and further studies have been reported by a number of investigators. Iwama and Shinjo²⁾ reported that the electrical changes on the papilla parotidea closely resembles that of the salivary flow from the human parotidea gland and they suggested that this electrical change is caused by the action of currents of the parotidea gland. Thereafter this suggestion has been supported by many investigators.

Inomata et al.³⁾, recorded the electrical change on the papilla parotidea and in two other places (the

受付：平成16年9月30日

cutis over the parotidea gland and around the parotidea) simultaneously, and found the amplitude of the electrical change on the papilla parotidea as 10 mV but the amplitude from the two other places were be low 0.3 mV. This discrepancy among the amplitudes on the papilla parotidea and from two other places are difficult to explain by the action current mechanism.

Inomata et al.⁴⁻⁹⁾ suggested that the electrical change on the papilla parotidea is not caused by the action currents of the parotidea gland but by the saliva itself.

This report aims to clarify the relation between the secretion of parotidea saliva and the electrical change on the papilla parotidea.

MATERIALS AND METHODS

The subject was a healthy 57-year-old male with a parotidea secreting about two times more than others. About 1 h after the Carlson type cup¹⁰⁾, was placed over the papilla parotidea, the tongue was stimulated with 3% tartaric acid. A small disc of cotton wool, about 1 cm in diameter, was saturated with tartaric acid solution (3%) and was quickly rubbed (ca. 0.4 ml) three times along the margin of the tongue from tip to base at the ipsilateral side of the Carlson type cup. When the effect of the stimulation reached a constant level after a small number of successive 5 min interval tongue stimulations, the collection of saliva and recording of electrical changes were started.

The saliva of the parotidea gland was collected through this Carlson type cup, and the electrical change was simultaneously lead out from this cup. A diagram of the manner of the collection of saliva and

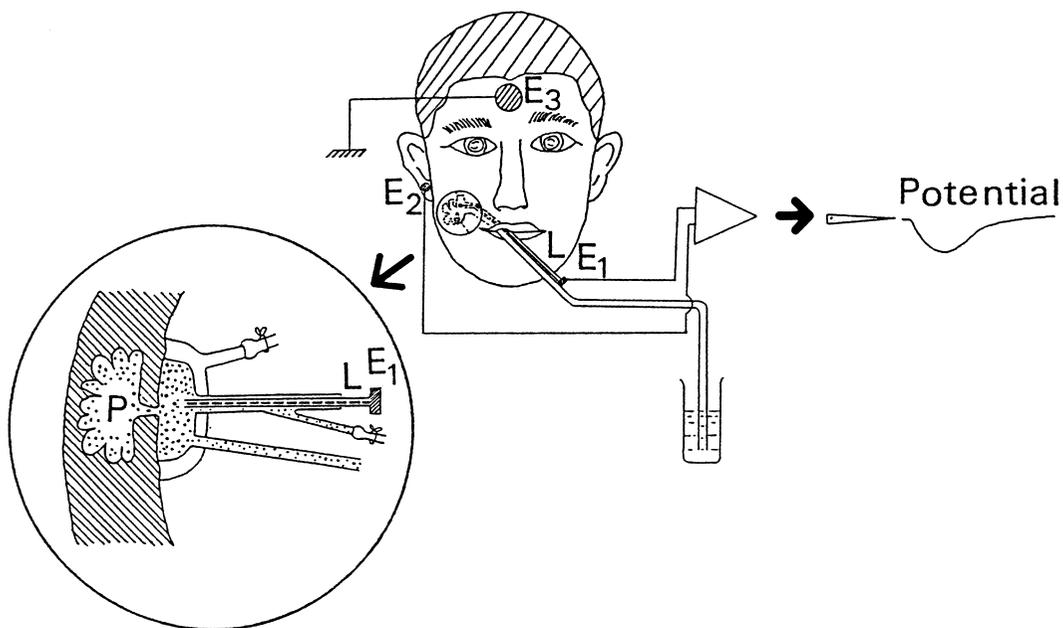


Fig. 1 Block diagram of the experiments.

P : Parotidea gland.

L : Lead wire (vinyl tube with cotton thread filled with saline, termed "thread electrode").

E₁ and E₂ : Ag - AgCl electrodes (8mm diameter : miniature skin electrode/Nihon Kohden).

E₃ : Ag - AgCl electrodes (3X3cm).

the leading out of the electrical change from the papilla parotidea is shown in Fig. 1.

A vinyl tube (1mm in diameter) with a cotton thread inside was filled with saline, at one end of this tube and the tip of this thread was pulled about 2 mm inside from the edge of the cross section of the vinyl tube, as the tip of the thread should not enter the saliva flow, and this end of the tube was placed on the papilla parotidea through the drainage of a Carlson type cup. The other end of this vinyl tube was connected to an Ag—AgCl electrode (8mm in diameter : miniature skin electrode, Nihon Kohden, Japan) using E.E.G. paste and attachment, and the lead of this Ag—AgCl electrode was connected to the input (+) port of the DC amplifier (micro—electrode amplifier). This type of electrode (pulled thread tip) showed smaller noise and errors due to larger inaccuracies in the potential on an electrode than on other types of electrodes by preliminary experiments, and this system was named a “thread electrode”. Another Ag—AgCl electrode was placed on the lobulus auriculæ using E.E.G. paste at the ipsilateral side of a Carlson type cup and was connected to the input (—) port of a DC amplifier and was used as the indifferent electrode, and a larger Ag—AgCl electrode (3 cm) was placed on the center of the forehead and used as the body earth electrode (Fig. 1). Ag—AgCl electrodes (8 mm in diameter) were placed on the cutis over the parotidea gland, and suction type electrodes (trial production) were placed on the mucous membrane around the papilla parotidea and these electrodes were used as the different electrode. The electrical change on the papilla parotidea and other places were continuously recorded on paper via a DC amplifier and pen—recorder system.

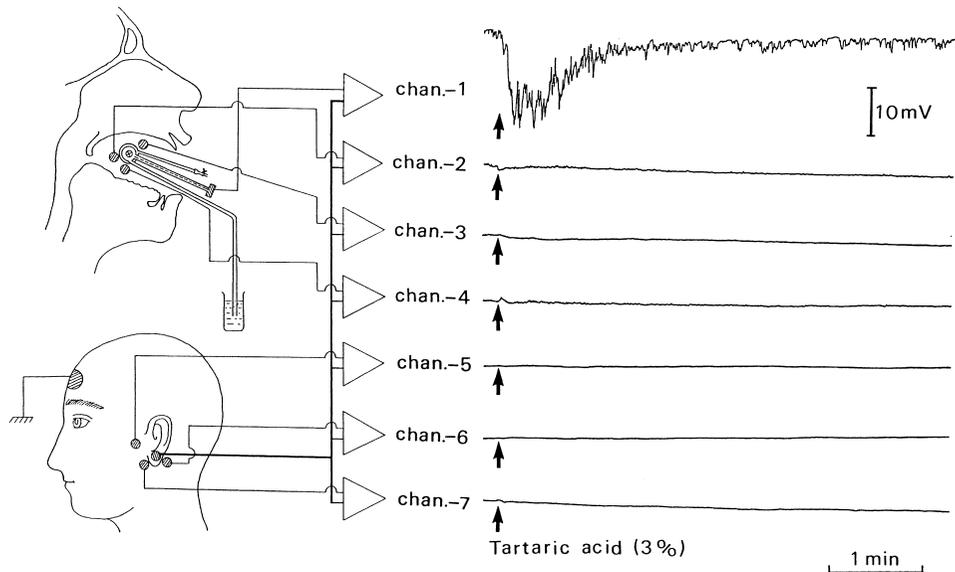


Fig. 2 The electrical change on the papilla parotidea and at six other places.
 Top record : electrical change on the papilla parotidea (18mV).
 Next three records : electrical changes on the mucous membrane around the papilla parotidea.
 Lower three records : electrical changes on the cutis over the parotidea gland.

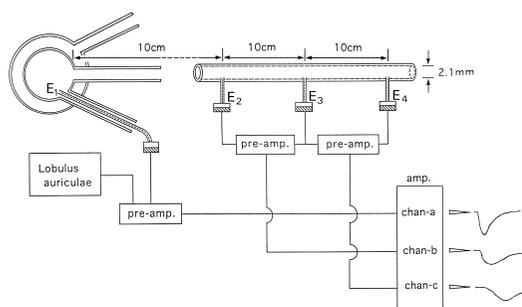


Fig.3 Recording method for the electrical changes during parotid saliva passing each of the electrodes in the salivary drain.

E_1 , E_2 , E_3 , and E_4 : thread electrodes.

Ag-AgCl electrode (8mm diameter) was connected with lobulus auriculæ using E.E.G. paste.

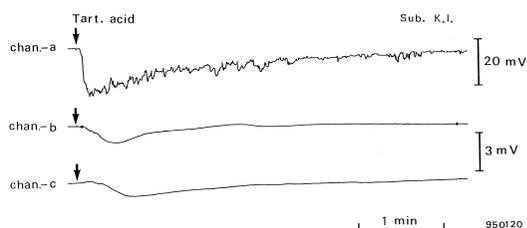


Fig.4 Relation between electrodes and the occurrence of the time of culmination.

The time of culmination on ch-a was about 10 sec after stimulation, on ch-b about 25 sec, and on ch-c about 40 sec.

RESULTS

The electrical changes from the papilla parotidea and six other places were simultaneously recorded as shown in Fig. 2. The channel 1 record shows the electrical change on the papilla parotidea and the amplitude of this change is about 18 mV. The records of channels 2, 3, and 4 show the electrical changes on the mucous membrane around the papilla parotidea, the records of channels 5, 6, and 7 show the electrical changes on the cutis over the parotidea, the amplitude of these electrical changes were all lower than 0.8 mV. It was considered that the difference in electrical change between channel 1 and the other channels may be related to the existence (channel 1) or absence (other channels) of salivary flows. Assuming that this electrical change is related to the salivary flows, the correlation between the time of culmination of the electrical change and that of the salivary flow was determined using a device as shown in Fig. 3. The secreted saliva from the parotidea gland flows through the tip of electrode (E_1) and, in order, of through three other electrodes (E_2 , E_3 , and E_4) in this device, and the leads of E_1 and of the electrode on the lobulus auriculæ were connected to channel a; E_2 and E_3 were connected to channel b; and E_3 and E_4 were connected to channel c. The records of the electrical changes from these electrodes are shown in Fig. 4. Fig. 4 shows that, the variation in the time of culmination in the electrical changes depend upon the distance from the papilla parotidea, i.e., the time of culmination for E_1 and the auriculæ (channel a) is about 10 sec; for E_2 and E_3 (channel b) if is about 25 sec; and for E_3 and E_4 (channel c) is about 40 sec.

The electrical characteristic of the collected saliva was examined with the method shown in Figs. 5 and 6. The saliva secreted through a Carlson type cup was collected into a syringe (2 ml type) as in Fig. 5 A, and about 4 min later the collected saliva was injected into a Carlson type cup as in Fig. 5B. As shown in Fig. 6, after tongue stimulation the secreted saliva was collected during the high electrical response (bar and solid triangle), and till about 4 min after the tongue stimulation when this electrical response returns to the level before the stimulation (resting); At this collected saliva was again injected into a Carlson type cup (bar and open triangle). At this injection, an electrical change was again recorded even with the pa-

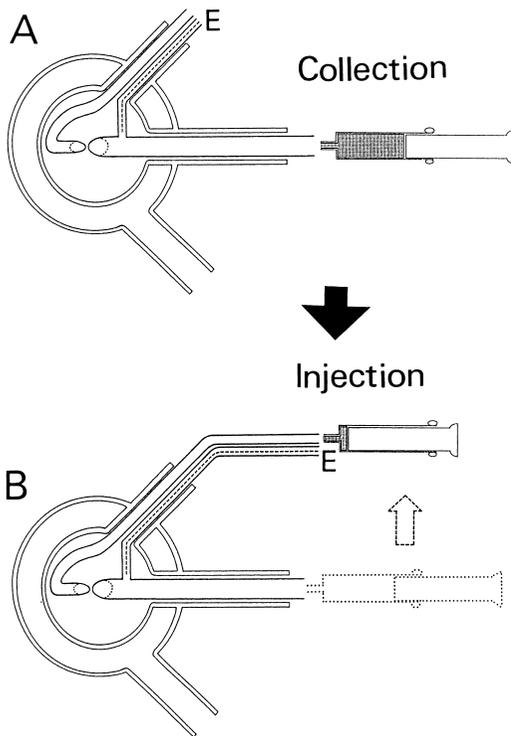


Fig.5 Diagram of the collection of the parotid saliva and injection of this collected saliva.
 A : Secreted saliva which evoked larger electrical changes was collected into a syringe (2 ml type).
 B : This collected saliva was injected about 4 minutes after the stimulation,
 E : Thread electrode.

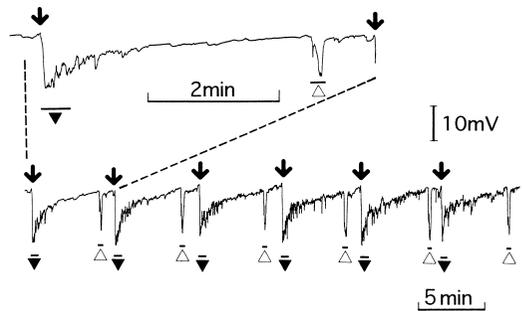


Fig.6 The electrical change on the parotid by tongue stimulation and by injection of collected saliva.
 Upper record : The recording speed of this curve is five times the lower record recording speeds.
 Lower record : The record from the papilla parotid by stimulation (six times) and by injection of collected saliva (six times) respectively.
 ↓ : tongue stimulation (3% tartaric acid).
 ▼ : collection of saliva and its duration.
 △ : injection of collected saliva and its duration.

rotid gland in resting condition.

The amplitude of the electrical change with injection of the collected saliva showed 75–90% of the amplitude with tongue stimulation. The preliminary experiments, suggested that the amplitude of the electrical change with the injection of the collected saliva depends on the condition of fitting of the Carlson type cup on the papilla parotid and it is not easy to maintain this in a good condition (Inomata et al.⁸⁾), and this experiment also established that the injection of the collected saliva does not change salivation from the papilla parotid.

DISCUSSION

Iwama and Shinjo²⁾ have reported that the electrical phenomena of the papilla parotid accompanying human saliva secretion are caused by an action current on the parotid gland, and this is generally accepted. By the experiment here (Fig. 2), the maximum amplitude in electrical change on the papilla parotid shown was about 18 mV (chan-1) and the electrical change on the other six portions (from chan-2 to chan-7) showed slighter amplitudes (lower than 0.8 mV) in the simultaneous recording, and the differ-

ence in the amplitude of the electrical change of the papilla parotidea and other six parts portions could not be explained with Iwama and Shinjo's action current theory²⁾.

Inomata et al.⁴⁾ reported that the time course of the electrically change on the papilla parotidea was parallel to the variation in the electrical charged saliva which was caused by the total ions in the saliva (termed as the total charge : Inomata et al.⁴⁾). This suggested that the movement in the electrical change depends upon the intensity of the electrically charged saliva, and to test this the relation between the moving, electrically charged saliva and the movement of the culmination in the electrical change was investigated using the apparatus shown in Fig. 3 (here each recording electrode is set at a different distance from the papilla parotidea), and the results are shown Fig. 4.

The results show that the times of culmination of the electrical change in the middle record (channel b in Fig. 4) is delayed about 15 sec from the times of culmination of the upper record (channel a) and that the time culmination of the lower record (channel c) is also delayed about 15 sec from the middle record (channel b). This suggests that the differences of these times of culmination were caused by the electrically charged saliva moving through the drain in the apparatus (Fig. 3).

The amplitude of the electrical change on the papilla parotidea (channel a) was compared with the amplitude of the electrical change on the drain in this system (channels b and c). The amplitude of the former is about ten times that of the latter, and the cause of this may be suggested to be as follows : 1) more or less saliva around each electrode affects the electrical generation (the difference in electric generation around each electrode) ; 2) differences in the mixture ratio of stimulated saliva to resting saliva ; 3) differences in the position of the leads in this system ; 4) the effect of input impedance in the preamplifier system. Most details of the cause for these differences will be determined in further studies.

The relation between the electrically charged saliva and the electric changes was investigated using the apparatus as shown Fig. 5, and the charged in the electrical changes on the papilla parotidea which was evoked by tongue stimulation and by injection of the collected saliva is shown in Fig. 6. The amplitude of these electrical changes evoked by the injection of collected saliva were 75~90% (12~15 mV) for ordinary electrical change (15~17 mV) evoked by tongue stimulation (tartaric acid 3%). From this, it was concluded that the electrical change on the papilla parotidea mainly depends upon the intensity of the electrically charged saliva (electric generator of power in the saliva) and not on the action current of the parotidea gland as described by Iwama and Shinjo²⁾, of course, this intensity of the electrically charged saliva was caused by a summation of the various ions in the saliva (total charges : Inomata et al.⁴⁾).

REFERENCES

- 1 . Bayliss, W.M. and Bradford, J.R. : On the Electrical changes accompanying secretion. *J. Physiol. (Lond.)*, **6** : 13—16, 1885.
- 2 . Iwama, K. and Shinjo, T. : A method for leading off action currents from human salivary gland and for recording velocity of secretion. *Tohoku J. Exp. Med.*, **52** : 223—229, 1950.
- 3 . Inomata, K., Takakuwa, M., Tamagawa, M., Kurahashi, M. and Nakamura, H. : A study on the parotid salivation and changes in electrical potential. II. Some problems in the time—course of secretory potentials in human period. *Higashi Nippon Det. J.*, **3** : 21—26, 1984.
- 4 . Inomata, K., Takakuwa, M., Iwase, K. and Kurahashi,

- M. : A study on the parotid salivation and changes in electrical potential. III. The relation between the electrical potential accompanying salivation in human parotid and ion concentration in parotid saliva. *Higashi Nippon Det. J.*, **3** : 161–167, 1984.
5. Inomata, K., Suzuki, M., Hoshi, M. and Kurahashi, M. : A study on the parotid salivation and changes in electrical potential. IV. The relation between electrical changes on the parotidea and electrical changes of saliva and saline. *Higashi Nippon Det. J.*, **11** : 189–193, 1992.
6. Inomata, K., Suzuki, M., Hoshi, M., Oota, I. and Kurahashi, M. : The potential differences between two solutions with different concentrations of electrolytes using filter paper as a bridge. *Higashi Nippon Det. J.*, **14** : 71–76, 1995.
7. Inomata, K., Oota, I. and Kurahashi, M. : Relation between the secretory potential of parotid glands and the generated of collected salivas. *Higashi Nippon Det. J.*, **14** : 193–200, 1995.
8. Inomata, K., Oota, I., Ishii, H., Yamane, Y. and Kurahashi, M. : Electrical changes induced by injection of collected saliva on the papilla parotidea. *Higashi Nippon Det. J.*, **16** : 279–285, 1997.
9. Inomata, K., Oota, I., Ishii, H., Yamane, Y. and Kurahashi, M. : The movement of parotid saliva and time lag of appearance of electrical change. *Higashi Nippon Det. J.*, **17** : 67–74, 1998.
10. Carlson, A. and Crittenden, A.L. : The relation of ptyalin concentration to the diet and to the rate of secretion of the saliva. *Am. J. Physiol.*, **26** : 169–177, 1910.

〔原 著〕

アパタイト-ブラスト-インプラントの実験的研究

松原秀樹¹⁾, 廣瀬由紀人¹⁾, 賀来 亨²⁾, 越智守生¹⁾, 坂口邦彦¹⁾

¹⁾北海道医療大学歯学部歯科補綴学第二講座

²⁾北海道医療大学歯学部口腔病理学講座

An experimental study of apatite blasted implants

Hideki MATSUBARA¹⁾, Yukito HIROSE¹⁾, Tohru KAKU²⁾,
Morio OCHI¹⁾, Kunihiro SAKAGUCHI¹⁾

¹⁾Departments of Fixed Prosthodontics and ²⁾Oral Pathology
School of Dentistry, Health Sciences University of Hokkaido

Abstract

The present study aimed to determine morphological characteristics and bone inductivity of the blasted-substrate interface, for dental titanium implant blasted with hydroxyapatite (HA) / β -tricalciumphosphate (β -TCP) eutectic composites. For this purpose, the bone contact ratio at the bone-implant interface and the mechanical strength by implant removal torque were determined to compare the effects of different surface treatments on the promotion of bone formation around dental implants. The study examined the machined surface, the acid-etched surface, the blasted-substrate surface at five minutes cleaning, and the blasted-substrate surface without cleaning.

The main results were as follows.

1. The observation of the blasted-substrate surface showed that the HA/ β -TCP eutectic composites did not remain on the titanium surface after the cleaning procedure of the implant material.
2. The results clearly showed that the blasted-substrate surface with five minutes cleaning was the shortest period needed for osseointegration among the four different surface treatments.

Key words : Titanium implant, Blasted-substrate, β -TCP, Removal torque, Japanese white rabbit

I. 緒 言

口腔インプラント治療は欠損補綴治療における選択肢の一つとして審美的、機能的な回復の手段として確立されてきた。また、生体適合性に関してはBrånemarkらの基礎的研究¹⁻⁴⁾ならびに臨床報告⁵⁻⁸⁾により、純チタンインプラントでは30年以上の長期観察例が報告され、生体内における安定性が確認されている。しかし、口腔インプラントにおいて咬合力を負荷させるまでの期間は、口腔インプラントの埋入後から一般的に上顎骨で6ヵ月、下顎骨で3ヵ月と報告され⁹⁾、患者はそれまでの期間は最終補綴物が装着されていない状態で過ごさなければならない。そこで、補綴学の観点からこの期間を短縮することが可能ならば非常に有意義であると思われる。

現在、骨結合の期間を早期化するためにハイドロキシアパタイト（以下、HA）コーティングインプラントが用いられている。HAは高い生体親和性を有し^{10,11)}、周囲の骨形成を促進する働きがある。しかし、従来のプラズマ^{12,13)}およびフレーム溶射法^{14,15)}によるHAコーティングインプラントではコーティング層の剥離、溶解によるインプラント体周囲の骨吸収が報告され¹⁶⁻¹⁹⁾、長期にわたる検索は未だ数少ない²⁰⁾。また、オッセointegrেশンの獲得速度および骨結合力の増加を期待するために、インプラント体表面にプラスト加工を施す方法が用いられるようになってきた²¹⁾が、プラスト材料であるアルミナには生体内での問題点が指摘されている²²⁾。

そこで、本研究では、アパタイトの高い生体親和性および安全性と純チタンの長期における生体内安定性の両方の利点を応用するため、純チタンインプラント表面に骨置換材料であるアパタイト（HAおよび β -TCPの共晶焼結体）²³⁾をプラスト処理したインプラント体を作製し、

粗造化した表面、ならびに表面に残留したアパタイト粒子が、骨との接触率や骨との接合強度にどのように影響するかを、動物実験を行って調べることを目的とした。

II. 材料および方法

1. 実験材料と表面処理方法

アパタイトプラスト粒子は β -TCPとHAを9：1の割合で共晶焼結させたもの（ブレンベース、東京）を用いた（図1）。インプラント体は直径3.3mm、骨内長10mmのJIS第2種純チタンインプラント（ブレンベース、東京）を用いた（図2）。

本実験で行った表面処理過程を図3に示す。元となるインプラント体は、機械加工によりチタン棒を削りだした試料（以下、機械加工）を用いた。アパタイトプラスト処理のみを施した試料（以下、未洗浄）は、チタン棒に一次プラスト材料として平均粒径0.8mmのアパタイト粒子を、二次プラスト材料として平均粒径0.2mmのアパタイト粒子を用いて、0.6MPaの圧でプラストしたもの、アパタイトプラスト処理後洗浄した試料（以下、5分洗浄）は、未洗浄をイオン交換水中にて5分間超音波洗浄を行ったもの、アパタイトプラスト処理後アパタイト粒子を溶解させた試料（以下、酸処理）は、5分洗浄を2Nの塩酸中にて1分間超音波洗浄を行った後、イオン交換水中にて5分間超音波洗浄を行ったものを用いた（図2）。

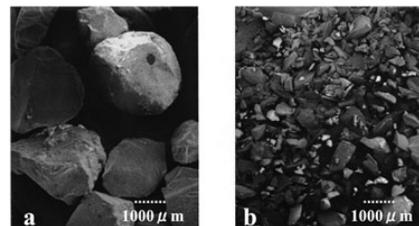


図1 HAおよび β -TCPの共晶焼結体のSEM像
a：一次プラスト材料 b：二次プラスト材料



図2 実験に使用した4種類のインプラント体
a: 機械加工 b: 酸処理 c: 未洗浄 d: 5分洗浄

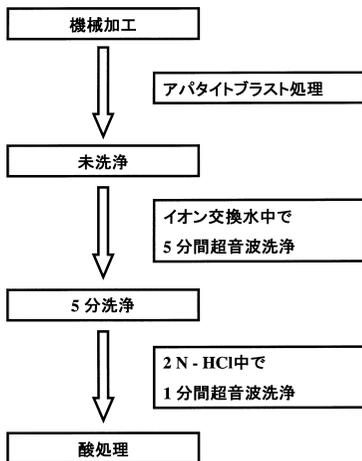


図3 インプラント体に対する表面処理過程

以上の表面処理を、インプラント体に対して機械加工、未洗浄、5分洗浄、酸処理の4種類の表面処理を行った。

2. SEMの観察およびX線マイクロアナライザーによる材料表面の分析

機械加工、酸処理、未洗浄、5分洗浄インプラント体の4種類の試料(図2)に対して走査電子顕微鏡(S-700[®], 日立社製, 東京)により各表面処理を行ったインプラント体表面を100倍で観察した。また、未洗浄、5分洗浄、酸処理インプラント体の3種類の試料に対してインプラント体断面を1000倍で観察し、さらにX線マイクロアナライザーにより表面のTi, Ca, Pの分布状態を分析した。

3. 動物実験

1) インプラント体埋入

実験に用いたインプラント体は、直径3.3mm, 骨内長10mmの機械加工インプラントに、それぞれ未洗浄, 5分洗浄, 酸処理を施した計4種類を用いた(図2)。

実験動物は体重約2.5kgの成熟雄日本白色ウサギ(ホクドー, 札幌)60羽を用いた。ウサギは検疫飼育1週間後、固定器に順応させてから用いた。

インプラント体の埋入手術は、前投薬にジアゼパム(ホリゾン[®], 山之内製薬, 東京)2mg/kgの筋注, 硫酸アトロピン(硫酸アトロピン注射液タナベ[®], 田辺製薬, 大阪)0.05mg/kgの皮下注を行った後、ペントバルビタールナトリウム(ネプタール[®], タイナボット, 大阪)10mg/kgの経耳静脈投与による全身麻酔下で行った。患部の剃毛後、塩酸リドカイン(キシレステシン[®]A注射液, ESPE, Germany)にて浸潤麻酔を行い、皮膚、筋膜、骨膜を順次剥離して大腿骨遠心端部内側の骨面を露出させ、電気エンジン(インプランターII[®], 京セラ, 京都)を用いて注水下、低速回転(800rpm/min)にて可及的に骨端骨髓内にドリルホール形成後、インプラント体をセルフタップで埋入し骨膜、皮膚を縫合した。インプラント体の埋入は、すべてのウサギについて可及的に同一部位、同一方向で行った。実験期間は早期における骨結合を比較するために、当教室の松本ら^{24,25)}の報告に従い、1, 2, 4週間とした。なお、実験は「北海道医療大学動物実験の指針」に従い行った。

2) 蛍光ラベリング剤の投与

蛍光ラベリング剤として、オキシテトラサイクリン(静注用ユナシリン[®], 昭和薬品化工, 東京, 以下, TC)を30mg/kg, カルセイン(C₃₀H₂₂N₂O₁₃Na₄, 関東化学, 東京, 以下, CAL)を8mg/kgをウサギ大腿部にそれぞれ

筋注した。2色蛍光ラベリング^{26,27)} (以下, 蛍光ラベリング) のスケジュールは埋入後1週間のは手術直後にTCを, 術後5日目にCALを投与した。埋入後2週間のものは術後8日目にTCを, 術後12日目にCALを投与した。埋入後4週間のものは術後19日目にTCを, 術後26日目にCALを投与した。TCは黄色, CALは緑色の蛍光を発する (図4)。

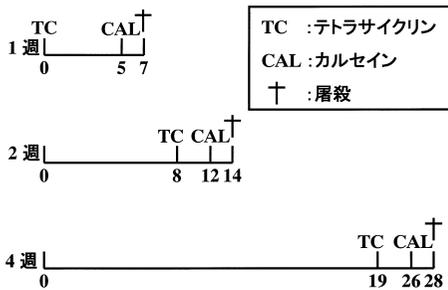


図4 1, 2, 4週間における蛍光ラベリングスケジュール

3) インプラント回転除去トルク値の測定

インプラント体の骨に対する骨固着力を力学的に検討するためインプラント回転除去トルク値の測定を行った^{28,29)}。各実験期間終了後, ウサギに全身麻酔をかけ, 左側大腿部に浸潤麻酔後, 大腿部に埋入してあるインプラント体のアバット接合部を露出させ, 既成のドライバータッチメントを装着し, 自作の12%金銀パラジウム合金製コネクターを装着したトルクレンチ (トルクゲージ2400ATG-N[®], 15BTG-N[®], 東日製作所, 東京) を用いて測定した。トルク測定時は, トルクレンチがインプラント体に対し可及的に垂直になるようにして測定した。

なお, 統計処理は, 機械加工, 未洗浄, 5分洗浄, 酸処理について, FisherのPLSDによる多重検定法を用いて有意差の判定を行った。

4. 新生骨形成状態の評価

1) 非脱灰研磨標本の作製

インプラント体埋入後1, 2, 4週間でウサ

ギをペントバルビタールナトリウムの過投与により安楽的に屠殺した。生理食塩水による脱血後, 10%ホルマリン溶液による灌流固定を行い, インプラント体埋入部を周囲骨も含めて摘出し, Villanueva bone stain (マルトー, 東京) に浸漬後, 通法³⁰⁾に従いPolyester樹脂 (Rigolac[®], 応研商事, 東京) にて包埋し, 切片機 (BS3000[®], Exakt, Germany) にてインプラント体の埋入方向に垂直に試料を薄切後, 機械研磨 (MG4000, Exakt, Germany) し, 切片を作製した。

新生骨形成状態の評価を行った切片の深さは骨縁下2-7mmで統一し, 各群について20個 (ウサギ5羽×インプラント体1本×切片4個) の切片を用いた。

2) CMR像を用いた画像解析による骨接触率の計測

切片を厚さ120 μ mに調整し, 軟X線発生装置 (Sofron Model BSTI1505CX[®], 綜研, 東京) を用い, 焦点-被写体間距離 (FSD) を150mmとし, 管電圧10kVp, 管電流5mA, 照射時間3分で撮影した。フィルムには軟X線用超微粒子フィルム (MIN-R2000[®], 日本Kodak, 東京) を用い, 通法に従い現像, 定着, 水洗, 乾燥処理を行った。得られたCMR像を20倍 (弱拡大) で画像解析に用いた。画像解析は, 画像解析ソフトNIH Image[®]1.61 (National Institutes of Health, Bethesda, MD, U.S.A.)³¹⁾を用いた。骨接触率^{24,25,32,33)}は, インプラント体周長に対して, インプラント体に接している新生骨の長さのパーセント [インプラント体と新生骨の接触長さ/インプラント体周長×(100%)] とした。

3) Villanueva bone stain像の観察

切片は厚さ30 μ mに調整し, 光学顕微鏡 (BX-50[®], オリンパス, 東京) を使用し, 80倍 (以下, 強拡大) で組織学的観察を行った。

4) 蛍光ラベリング像の観察

切片を厚さ30 μ mに調整し, 蛍光顕微鏡 (BX

-50[®], オリンパス, 東京) を使用し, BV励起法にて強拡大像で経時的な骨形成過程の観察を行った.

なお, 統計処理は, 機械加工, 未洗浄, 5分洗浄, 酸処理について, FisherのPLSDによる多重検定法を用いて有意差の判定を行った.

Ⅲ. 結 果

1. SEMの観察およびX線マイクロアナライザーによる材料表面の分析

機械加工試料表面の平滑な表面形状がブラスト処理により表面が粗造化しているのが観察された. また, 酸処理した試料表面では凹凸が明瞭になっているのが観察された (図5).

断面像から, ブラスト処理した表面には,

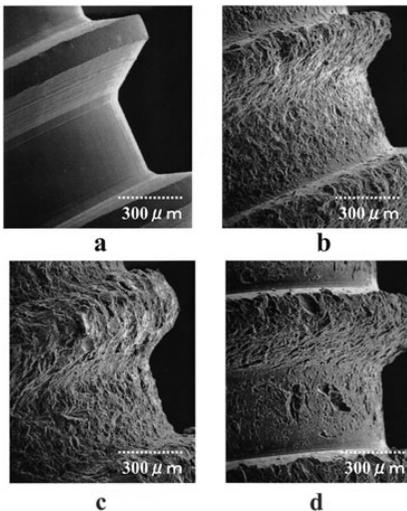


図5 インプラント体表面のSEM像
a: 機械加工 b: 未洗浄 c: 5分洗浄 d: 酸処理

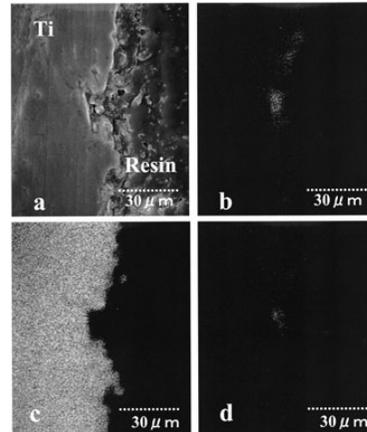


図7 5分洗浄試料断面の二次電子像と特性X線像
a: 二次電子像 b: Ca K α c: Ti K α d: P K α
インプラント体表面にプラスチック材料がわずかに残留しているのを確認できる.

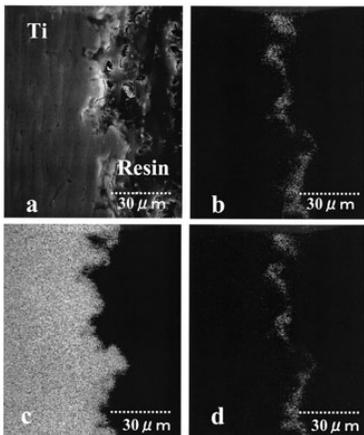


図6 未洗浄試料断面の二次電子像と特性X線像
a: 二次電子像 b: Ca K α c: Ti K α d: P K α
インプラント体表面にプラスチック材料が残留しているのを確認できる.

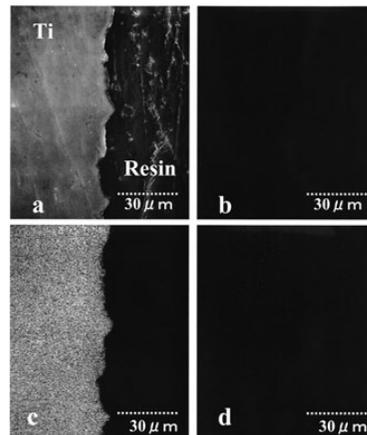


図8 酸処理浄試料断面の二次電子像と特性X線像
a: 二次電子像 b: Ca K α c: Ti K α d: P K α
インプラント体表面にプラスチック材料が残留していないのを確認できる.

Ca, Pの検出よりアパタイト粒子が残存しているのが確認された(図6)。また, 表面は必ずしも均一にアパタイト粒子が残存しているわけではないこと, さらに, 未洗浄と5分洗浄の比較から残存しているアパタイト粒子の量は洗浄によって減少することを示していた(図6, 7)。酸処理した試料の断面からは, CaとPは検出されなかった(図8)。

2. Villanueva bone stain像の観察

埋入後1週間では, インプラント体周囲での新生骨形成はそれほど観察されず, 周囲は結合組織で覆われているのが観察された(図9)。

埋入後2週間では, 5分洗浄群, 未洗浄群, 酸処理群はインプラント体周囲に鮮やかな赤色に染色された新生骨が多くみられるようになったが, 機械加工群ではそれほど活発には観察されなかった(図10)。

埋入後4週間では, 未洗浄群, 酸処理群, 機械加工群はインプラント体周囲に鮮やかな赤色で染色された新生骨がこの時期になっても観察されたが, 5分洗浄群はインプラント体周囲で成熟した骨の占める割合が多く観察されるようになってきた(図11)。

3. 蛍光ラベリング像の観察

埋入後1週間では, 5分洗浄群は他の表面処理群に比較してインプラント体周囲にCALでラベルされた新生骨が多くみられた(図12)。

埋入後2週間では, 5分洗浄群, 未洗浄群, 酸処理群はインプラント体周囲にTC,CALにラベルされた新生骨が多く観察されたが, 機械加工群ではあまり観察されなかった(図13)。

埋入後4週間では, 機械加工群はインプラント体周囲での活発な新生骨形成が観察されたが, 他の表面処理群では成熟した骨の占める割合が多く観察された(図14)。

4. インプラント回転除去トルク値の測定

インプラント回転除去トルク値の平均値は, 埋入後1週間では5分洗浄群は21.2N・cmを示し, 他の未洗浄群14.5N・cm, 酸処理群15.0N・cm, 機械加工群12.7N・cmに比較して有意に高い値を示した(図15)。

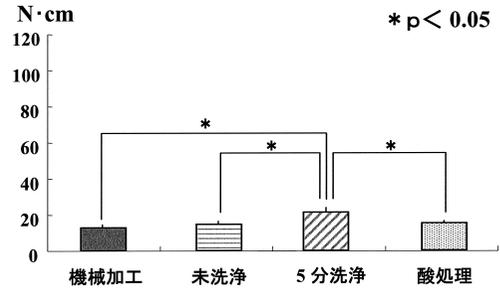


図15 回転除去トルク値(埋入後1週間)
5分洗浄群は21.2 N・cmを示し, 他の未洗浄群14.5 N・cm, 酸処理群15.0 N・cm, 機械加工群12.7 N・cmに比較して有意に高い値を示した。

埋入後2週間では5分洗浄群は58.7N・cm, 未洗浄群は44.0N・cm, 酸処理群は30.7N・cm, 機械加工群は17.8N・cmを示し, それぞれの区間で有意差が認められた(図16)。

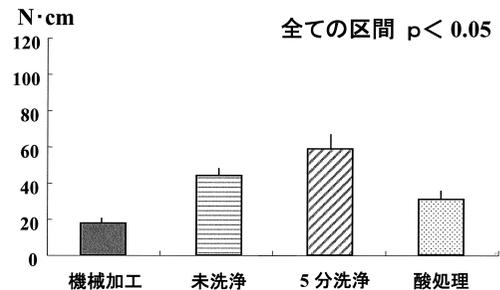


図16 回転除去トルク値(埋入後2週間)
5分洗浄群は58.7 N・cm, 未洗浄群は44.0 N・cm, 酸処理群は30.7 N・cm, 機械加工群は17.8 N・cmを示し, それぞれの区間で有意差が認められた。

埋入後4週間では5分洗浄群は87.3N・cm, 未洗浄群は67.7N・cm, 酸処理群は62.3N・cm, 機械加工群は21.7N・cmを示し, 酸処理群, 未洗浄群では有意差は認められなかった

(図17).

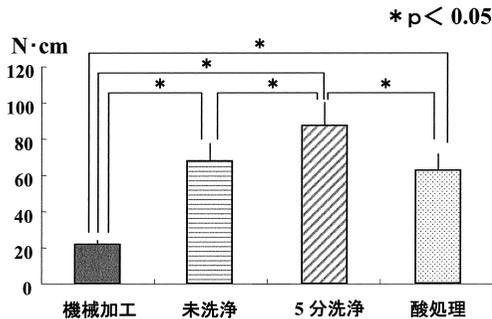


図17 回転除去トルク値 (埋入後4週間)
5分洗浄群は87.3 N・cm, 未洗浄群は67.7 N・cm, 酸処理群は62.3 N・cm, 機械加工群は21.7 N・cmを示し, 酸処理群, 未洗浄群では有意差は認められなかった。

5. 骨接触率の計測

骨接触率の平均値は, 埋入後1週間では5分洗浄群は34.6%を示し, 未洗浄群の25.2%, 酸処理群の26.7%, 機械加工群の18.3%に比較して, 有意に高い値を示した (図18)。

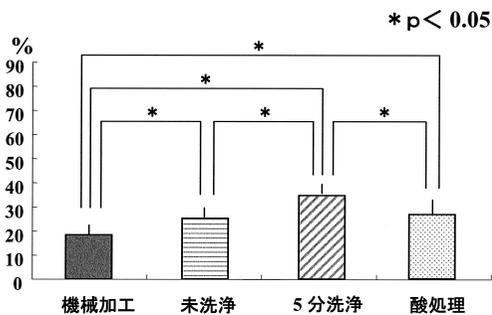


図18 骨接触率 (埋入後1週間)
5分洗浄群は34.6%を示し, 未洗浄群の25.2%, 酸処理群の26.7%, 機械加工群の18.3%に比較して, 有意に高い値を示した。

埋入後2週間では5分洗浄群は55.6%, 未洗浄群は43.0%, 酸処理群は34.1%, 機械加工群は23.6%を示し, 全ての区間で有意差が認められた (図19)。

埋入後4週間では5分洗浄群は62.4%, 未洗浄群は62.7%, 酸処理群は54.7%, 機械加工群は51.9%を示し, 全ての区間で有意差は認められなかった (図20)。

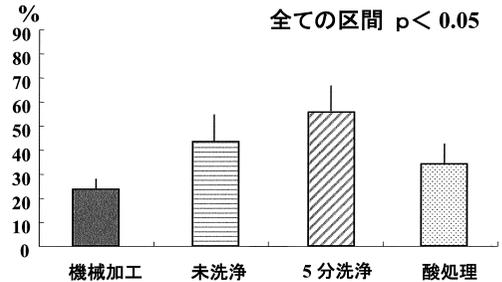


図19 骨接触率 (埋入後2週間)
5分洗浄群は55.6%, 未洗浄群は43.0%, 酸処理群は34.1%, 機械加工群は23.6%を示し, 全ての区間で有意差が認められた。

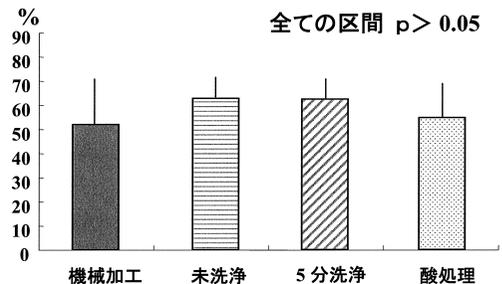


図20 骨接触率 (埋入後4週間)
5分洗浄群は62.4%, 未洗浄群は62.7%, 酸処理群は54.7%, 機械加工群は51.9%を示し, 全ての区間で有意差は認められなかった。

IV. 考察

1. インプラント体の表面処理

インプラントの臨床的成功には, 顎骨内においてインプラント体が生体内での異物性生体反応を惹起することなく, 確実なオッセオインテグレーションを獲得することが不可欠である。この現象は, 顎骨内での炎症, 骨の修復およびリモデリングよりなる一連の創傷治療であり, インプラント体の表面性状, 材質, デザインなどが骨形成に与える影響は大きい²¹⁾。

現在, インプラント体の表面処理には機械加工¹⁻⁸⁾, HAコーティング¹²⁻¹⁵⁾, サンドブラスト³⁴⁻³⁶⁾, 陽極酸化³⁷⁾などが行なわれているが, もっとも長年使用され, 研究論文も多数報告さ

れているシステムに、Brånemark インプラント¹⁻⁸⁾がある。このBrånemark インプラントは、表面が比較的平滑な機械加工を施され、生体内での良好なオッセオインテグレーションが確認されている。

今回用いたインプラント体は機械加工、未洗浄、5分洗浄、酸処理の4種類の方法を、同じ形態によるインプラント体に表面処理を施し、表面処理方法の違いにより早期の骨結合にどのような影響がみられるかを比較、検討した。

チタンなどの機械的強度の高い金属表面をブラストする際、一般には硬度の高いアルミナ³⁴⁾や酸化チタン^{35,36)}のブラスト材料が用いられている。その中でも、比較的容易に合成できるアルミナコランダムが広く使用されている。Guglielmottiら²²⁾は、アルミナは生体内における新生骨形成過程でカルシウムと競合的に働き、骨形成を妨げると報告し、早期における骨結合に不利に働く可能性を示唆している。本研究でアパタイトブラスト処理を施した後にイオン交換水による洗浄を行った試料では処理後においても、SEMの観察およびX線マイクロアナライザーによる分析で、表面にはブラスト材料が残留していることが確認できた。そこで、生体親和性の高いリン酸カルシウム材料を使用することで、より安全性の高い材料でブラスト処理が達成できたと思われる。

萩原²¹⁾は、埋入初期においてはインプラント体の粗面化とフィブリンとは密接に関係しており、ブラスト処理を施すことで血餅の保持およびフィブリンが接合に有利に働き、インプラント埋入直後にフィブリン網が形成され、それらを足場として骨誘導が促進され、オッセオインテグレーションの獲得速度および骨結合力の増加が期待できると報告している。また、五味ら^{38,39)}、藤森⁴⁰⁾は、表面粗さは骨芽細胞様細胞の増殖、分化、蛋白形成に大きな影響を与えることを報告している。本研究においても骨接触

率、回転除去トルク値の検討では、機械加工に比較して酸処理、未洗浄、5分洗浄を行ったものは早期における新生骨の形成が確認された。酸処理に比較して5分洗浄が良好な結果を示したため、ブラスト処理表面にアパタイトが残留することにより、さらに新生骨の形成を促進していると思われる。

2. アパタイトによるブラスト表面処理

HAは生体親和性に優れ^{10,11)}、骨伝導能による生物学的結合が得られるため早期の骨結合が得られるという点で臨床上有利とされている。しかし、HA単体では機械的強度が弱く、生体の負荷を支持することが困難であり、インプラントのフィクスチャーとしての利用は難しい⁴¹⁾。そこで、通常チタンインプラント体表面にコーティング処理を行って応用されている⁴²⁾。

一般的にHAのコーティング処理はプラズマ^{12,13)}およびフレーム溶射法^{14,15)}により行われているが、近年、臨床使用頻度の増加にともない、経過不良例の報告¹⁶⁻¹⁹⁾がされるようになってきた。原因としてはコーティング層の厚み、亀裂、剥離、脱落、溶解などがあり、従来の純チタンインプラントに比べ臨床における長期安定性は確立していない。現在までのHAによる表面処理インプラントは、生体内へ埋入後インプラント体表面にHAを残留させることで骨との結合を維持させる方向であった。しかし、本研究では初期固定の終了後は表面のリン酸カルシウム材料を積極的に溶解させるために、生体内で吸収しにくいHAの割合を最小限に抑え、生体内骨置換材料である β -TCPの占める割合の多い材料を使用した。その結果、最終的にはチタン表面と骨とが直接接触することを目的とした。そのため、本研究で使用した5分洗浄インプラントはコーティング層が存在しないこと、また、純チタンインプラント体表面にアパタイトをブラスト処理していることから亀裂、

剥離は生じないと考えられた。さらに、平滑な面におけるHAコーティングは多数報告されているが^{12)–15)}、粗造な表面に均一にコーティング層を形成する技術は非常に難しいことから、表面の粗造化とHAのコーティングを達成するためには、アパタイトによるブラストが技術的および安全性の面で適していると考えられた。

3. SEMの観察およびX線マイクロアナライザーによる材料表面の分析

本研究では、材料表面に対しSEMの観察およびX線マイクロアナライザーによる分析を行った。ウサギ大腿骨におけるインプラント体周囲の骨形成に、各表面処理がどのように影響するかを検討するためには、インプラント体の表面性状の違いを明らかにすることは重要であると考えられた。

各種インプラント体表面については走査電子顕微鏡による観察を行った。100倍像での観察で、酸処理した試料表面では凸凹が明瞭になっていることから、未洗浄および5分洗浄試料の表面には、アパタイト粒子が残存していることが分かった。しかし、チタン表面とアパタイトを肉眼的に区別することは難しく、表面の特性X線像による観察も行ったが粗造化した表面では観察距離の違いからTi, Ca, Pを明確に区別することはできなかった。そこで、断面像からの二次電子像、特性X線像により、アパタイトはチタン表面に食い込む形で残留していることが確認できた。チタン表面に食い込んでいるアパタイトブラスト粒子は β -TCPとHAを9:1の割合で共晶焼結させたものを用いたので、早期における骨結合を獲得した後は β -TCPが骨と置換し、純チタンとの直接の骨結合が得られ、長期的な安定が得られると考えられた。さらに、酸処理した試料の断面からの二次電子像、特性X線像により、CaとPは検出されなかったことから、酸処理によりアパタイト粒子は

完全に溶解されていることが分かった。

4. 回転除去トルク値の測定

インプラント体周囲の新生骨の骨固着力を力学的に検討するために、punched out試験^{43,44)}、回転除去トルク値の測定^{24,25,32,33)}などが評価法として使用されている。初期固定に必要な力学的な骨固着力についての基準は未だ示されていないが、インプラント体埋入時の締めつけトルクは15N・cmの強さを推奨していること、フィクスチャー上部のアパタイトの締めつけトルクに関しては20–35N・cmの力が必要であること^{45,46)}から、少なくとも35N・cmの骨固着力は必要であると思われる。

本研究ではインプラント体の形態がセルフタップで行うスクリュータイプであること、また、ウサギを全身麻酔下で生きたままの状態での測定できることから回転除去トルク値の測定を採用した。

本研究の結果から力学的には人間と同等の比較はできないが、5分洗浄群、未洗浄群、酸処理群に関しては、埋入後2週間で初期固定は得られているものと考えられた。

5. Villanueva bone stainと蛍光ラベリング

Villanueva bone stainは新生骨と既存骨を比較的良好に染色できる方法である。本研究では、埋入後4週間で新生骨は埋入後2週間と比較して鮮やかな赤色に染色された新生骨が減少し、層板構造を呈した成熟化した部分が多く観察され、松本ら^{24,25)}の報告と同様な結果を得られた。

蛍光ラベリング法^{26,27)}はラベリング剤を投与した時点における骨形成状態を経時的に観察することができ、インプラント-骨界面における骨形成過程を後から評価することが可能な方法である。本研究では、松本ら^{24,25)}の方法に準じて各実験群における骨形成時期の違いを確認し

た。また、5分洗浄群、未洗浄群、酸処理群については埋入後2週間における像が最も活発な新生骨の形成が確認された。埋入後4週間では埋入後2週間に形成された新生骨に相当する部分に成熟した骨が確認されるようになったため、骨の活発なりモデリングが行われていると推察された。

V. 結 論

純チタンインプラント表面に骨置換材料であるアパタイト (HAおよび β -TCPの共晶焼結体) をブラスト処理したインプラント体を作製し、表面性状の観察、およびウサギ大腿骨におけるインプラント体周囲の骨形成への影響について検討した結果、次の結論を得た。

1. 表面性状の観察において、アパタイト粒子は洗浄後もチタン表面に残留していることが確認された。
2. 酸処理は機械加工に比較して早期に骨結合が得られた。
3. 未洗浄および5分洗浄は、酸処理に比較して早期に骨結合が得られた。
4. 5分洗浄は未洗浄に比較して早期に骨結合が得られた。

以上より、アパタイトによるブラスト表面処理後洗浄を行ったインプラント体は生体内で早期に骨結合が得られ、補綴物装着までの期間の短縮化への可能性が示唆された。

謝 辞

稿を終えるに臨み、表面分析について懇切なるご指導とご教示を賜りました歯学部歯科理工学講座大野弘機教授ならびに遠藤一彦助教授に謹んで感謝の意を表します。さらに、終始温かいご支援とご協力を頂きました歯科補綴学第II講座、歯科理工学講座、口腔病理学講座の諸先

生方、歯学部ハイテクリサーチセンター電子顕微鏡機器室伊藤亜男氏、動物実験センターの皆様からお礼を申し上げます。

本研究の一部は日本補綴歯科学会東北・北海道支部学術大会 (2000年9月2日)、第106回日本補綴歯科学会学術大会 (2001年10月26日) において発表した。

文 献

1. Hansson, H. A., Albrektsson, T. and Branemark, P. I. : Structural aspects of the interface between tissue and titanium implants, *J. Prosthet. Dent.*, **50** : 108-113, 1983.
2. Schroeder, A., van der Zypen, E., Stich, H. and Sutter, F. : The reactions of bone, connective tissue, and epithelium to endosteal implants with titanium sprayed surfaces, *J. Max.-fac. Surg.*, **9** : 15-25, 1981.
3. Listgarten, M. A., Buser, D., Steinemann, S. G., Donath, K., Lang, N. P. and Weber, H. P. : Light and transmission electron microscopy of the intact interfaces between non-submerged titanium-coated epoxy resin implants and bone or gingiva., *J. Dent. Res.*, **71** : 364-371, 1992.
4. Weinlaender, M., Kenney, E. B., Lekovic, V., Beumer, J. III., Moy, P. K. and Lewise, S. : Histomorphometry of bone apposition around three types of endosseous dental implants, *Int. J. Oral Maxillofac. Implants*, **7** : 491-496, 1992.
5. Adell, R., Lekholm, U., Rockler, B. and Branemark, P. I. : A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of totally edentulous jaws, *Int. J. Oral Surg.*, **10** : 387-416, 1981.
6. Adell, R., Eriksson, B., Lekholm, U. and Branemark, P. I. : A long-term follow-up study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw, *Int. J. Oral Maxillofac. Implants*, **5** : 347-359, 1990.
7. Ekfeldt, A., Carlsson, G. E. and Borjesson, G. : Clinical evaluation of single-tooth restorations supported by osseointegrated implants : a retrospective study, *Int. J. Oral Maxillofac. Implants.*, **9** : 179-183, 1994.
8. Nevins, M. and Langer, B. : The successful application of osseointegrated implants to the posterior jaw : a long-term retrospective study, *Int. J. Oral Maxillofac. Implants*, **8** : 428-432, 1993.

9. Lekholm, U.: Clinical procedures for treatment with osseointegrated dental implants, *J. Prosthet. Dent.*, **50**: 116-120, 1983.
10. 島田勝弘, 寺延 治: 家兎におけるHA顆粒と骨髄の混合移植による骨形成に関する組織学的研究, *日口腔インプラント誌*, **10**: 303-314, 1997.
11. 藤井俊治, 阿部廣幸, 真中伸之, 片海裕明, 金子三恵, 扇内秀樹: イヌ下顎骨における合成ヒドロキシアパタイトの填塞に関する研究 第3報 粒状多孔体の病理組織学的観察, *日口腔インプラント誌*, **7**: 221-229, 1994.
12. 寶田 博, 杵淵孝雄: ヒドロキシアパタイトコーティングチタン人工歯根の臨床治験, *口病誌*, **60**: 104-136, 1993.
13. 神田昌巳, 西野治邦, 入江 修, 小川 優, 松沢耕介, 安彦善裕, 賀来 亨: HAコーティングインプラント上における骨芽細胞の動態-特に走査型電子顕微鏡による観察-, *日口腔インプラント誌*, **10**: 459-462, 1997.
14. 溝上克也, 尾口仁志: 異なった溶射法でチタンにコーティングした溶射ヒドロキシアパタイト被膜に関する生物学的比較検討, *鶴見歯学*, **23**: 21-45, 1997.
15. 木下径彦: ダブルコーティング溶射ヒドロキシアパタイト被膜に関する実験的研究-HAコーティングインプラントの溶射法による比較検討-, *鶴見歯学*, **24**: 135-156, 1998.
16. 森本啓三, 木原昭裕, 竹下文隆, 末次恒夫: スミシコンのコーティング層の剥離に関する病理組織学的観察, *日口腔インプラント誌*, **3**: 231-234, 1990.
17. 竹下文隆, 松下恭之, 村井健二, 鮎川保則, 伊山慎二, 末次恒夫: 摘出インプラント43本の臨床的ならびに組織学的観察, *日口腔インプラント誌*, **10**: 155-162, 1997.
18. 古澤利武, 齊藤智則, 室野井基夫, 山下 忍, 水沼一昭: 骨吸収により除去したHAコーティングインプラントの表面変化について, *日口腔インプラント誌*, **12**: 55-63, 1999.
19. 堤 厚二, 永山正人, 富田達洋, 三嶋 顕, 賀来 亨: 歯石様石灰化物の付着を認めたHAコーティングインプラントの撤去症例について-SEM, EPMA, WDXによる観察-, *日口腔インプラント誌*, **14**: 461-469, 2001.
20. 田村 誠, 田中 収, 舞田健夫: HAコーティングインプラントの臨床的評価: 5年間の成績, *補綴誌* **41**: 620-628, 1997.
21. 萩原芳幸: インプラントフィクスチャーに関する最近の動向, *The Quintessence YEAR BOOK'01*, 48-56, 2001.
22. Guglielmotti, M.B., Renou, S., Cabrini, R.L.: A Histo-morphometric Study of Tissue Interface by Laminar Implant Test in Rats, *Int. J. Oral Maxillofac. Implants*, **14**: 565-570, 1999.
23. 高橋伸彰, 柴田 和, 花田泰宣, 井口 新, 藤田顕治, 真鍋 憲, 網川雅恵, 寺延 治, 島田桂吉, 川井隆夫: ヒドロキシアパタイトの生体親和性に関する研究-骨芽細胞様細胞を用いての検討-, *日口腔インプラント誌*, **8**: 92-96, 1995.
24. 松本弘幸, 坂口邦彦, 越智守生: パルス電磁場刺激の家兎大腿骨インプラント埋入モデルへの応用 第1報 磁場強度, 1日あたりの刺激時間の影響, *補綴誌*, **40**: 1171-1182, 1996.
25. 松本弘幸, 坂口邦彦, 越智守生: パルス電磁場刺激の家兎大腿骨インプラント埋入モデルへの応用 第2報 新生骨形成状態の経時的变化の観察, *補綴誌*, **41**: 401-410, 1997.
26. 須賀昭一: 硬組織とTetracycline, *歯学*, **53**: 137-143, 1965.
27. 高橋 学, 川口哲郎, 中島早苗, 浅野安生, 龍口基雄: 石灰化組織の多色ラベリングのためのラベリング剤と投与方法について, *歯学*, **67**: 53-66, 1979.
28. 田中 悟, 山根 進, 田中克典, 関根 博, 川西敏雄, 岸 克好: ITI Bonafit®インプラントの動揺度と除去トルク値に関する実験的研究-X線所見および組織学的所見との関係-, *日口腔インプラント誌*, **7**: 198-204, 1994.
29. 関根智之, 中川寛一, 市之川 浩, 齋藤一太, 土倉 康, 山崎裕司, 高階光博, 浅井康宏: 骨内インプラントの除去トルクに関する実験的研究(第1報)-特に皮質骨維持の影響について-, *日口腔インプラント誌*, **11**: 370-374, 1998.
30. 仙波伊知郎: 骨・歯牙組織の病理検査法と研究技術の実際(永井教之編), *学際企画*, 東京, 83-98, 1991.
31. 沼原利彦, 小島清嗣: 医学・生物学のための画像解析ハンドブック実践, *NIH image講座*, 羊土社, 東京, 12-50, 1995.
32. 高島成悟, 加々見寛行, 越智守生, 広瀬由紀人, 坂口邦彦: 組織呼吸賦活剤ソルコセリル併用による容量結合型電場刺激(CCEF)法の歯科用インプラ

- ト周囲への骨形成促進効果に及ぼす影響, 東日本歯誌, 18:307-323, 1999.
33. 加々見寛行, 越智守生, 広瀬由紀人, 坂口邦彦, 賀来 亨: 容量結合型電場刺激 (CCEF) 法の口腔インプラントへの応用—家兎インプラント埋入モデルにおける骨形成促進効果の研究—, 日口腔インプラント誌, 13:38-46, 2000.
 34. Hayakawa, T., Yoshinari, H., Nemoto, K., Wolke J.G.C., Jansen, J.A.: Effect of surface roughness and calcium phosphate coating on the implant/bone response, Clin. Oral Impl. Res., **11**: 296-304, 2000.
 35. Piattelli, A., Scarano, A., Piattelli, M. and Galabrese, L.: Direct bone formation on sand-blasted titanium implants: an experimental study, Biomaterials, **17**: 1015-1018, 1996.
 36. Vercaigne, S., Wolke J.G.C., Naert I., Jansen J.A.: A histological evaluation of TiO₂-gritblasted and Ca-P magnetron sputter coated implants placed into the trabecular bone of the goat: part 2, Clin. Oral Impl. Res., **11**: 314-324, 2000.
 37. 高田博樹, 竹下文隆, 末次恒夫: 各種生体不活性材料に対する組織形態学的解析, 補綴誌, 39:636-642, 1995.
 38. 五味一博, 斉藤禎子, 金指幹元, 新井 高, 中村治郎: チタン表面粗さが破骨細胞様細胞の形態に与える影響, 日口腔インプラント誌, 9:306-312, 1996.
 39. 五味一博, 斉藤禎子, 小鮎正明, 住本治菜, 鄭鎮亨, 新井 高, 中村治郎: チタン表面粗さが骨芽細胞による無線維性石灰化休憩性に及ぼす影響, 日口腔インプラント誌, 10:1-8, 1997.
 40. 藤森伸也: 種々の微小面形状を付与したチタン板の表面分析並びにその表面上での骨芽細胞様細胞の増殖と分化に関する研究, 歯科材料・器械, 14:155-168, 1995.
 41. 青木秀希: 驚異の生体物質アパタイト, 医歯薬出版, 東京, 134-139, 1999.
 42. 石垣佳希, 白川正順: 超薄層HAコーティングインプラントの実験的研究—第1報 病理組織学的検討—, 日口腔インプラント誌13:623-629, 2000.
 43. 白崎芳夫, 林 和彦, 立石哲也, 松崎浩巳: 表面加工を施したチタン合金インプラント材と臨床用骨スクリューの接合強度および骨組織反応, 生体材料, 15:121-127, 1997.
 44. Burgess, A.V., Story, B.J., Wargner, W.R., Trisi, P., Pikos, M.A., Guttenberg, S.A.: Highly crystalline MP-1 hydroxylapatite coating. Part II: In vivo performance on endosseous root implants in dogs, Clin. Oral Impl. Res., **10**: 257-266, 1999.
 45. 浦口昌秀, 石垣佳希, 川原英明, 柏原 毅, 中村正和, 高松和広, 白川正順, 吉田隆一: インプラント体表面処理が機械的強さに及ぼす影響とアバットメントの締め付け強さに関する研究, 日口腔インプラント誌, 11:457-460, 1998.
 46. 村上広樹, 大久保厚司, 野田豊彦, 羽倉隆昌, 梁瀬丈志, 五十嵐俊男, 岸 祐治, 蒔田真人, 福西啓八, 岸 民祐, 三嶋 顕, 石丸 裕: トルクレンチによるアバットメント接合時の骨結合破壊について—第1報 トルクレンチの特性—, 日口腔インプラント誌, 12:394-399, 1999.

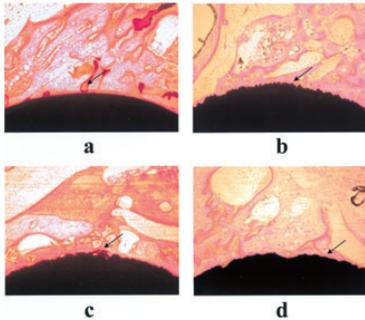


図9 Bone Stain像 (埋入後1週間)
 a: 機械加工 b: 未洗浄 c: 5分洗浄 d: 酸処理
 細い矢印: 染色された新生骨
 インプラント体周囲での新生骨形成はそれほど観察されず、周囲は結合組織で覆われている。

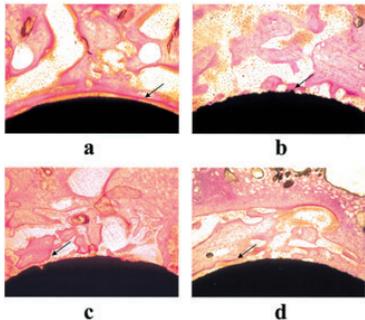


図10 Bone Stain像 (埋入後2週間)
 a: 機械加工 b: 未洗浄 c: 5分洗浄 d: 酸処理
 細い矢印: 染色された新生骨
 5分洗浄群, 未洗浄群, 酸処理群はインプラント体周囲に鮮やかな赤色に染色された新生骨が多くみられるが、機械加工群ではそれほど活発な骨形成はみられない。

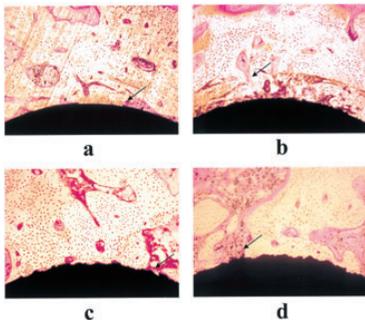


図11 Bone Stain像 (埋入後4週間)
 a: 機械加工 b: 未洗浄 c: 5分洗浄 d: 酸処理
 細い矢印: 染色された新生骨
 未洗浄群, 酸処理群, 機械加工群はインプラント体周囲に鮮やかな赤色に染色された新生骨がこの時期になってもみられるが、5分洗浄群はインプラント体周囲で既存骨の占める割合が多くなってきた。

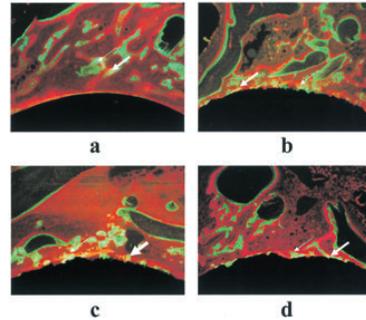


図12 蛍光ラベリング像 (埋入後1週間)
 a: 機械加工 b: 未洗浄 c: 5分洗浄 d: 酸処理
 細い矢印: TCのラベル, 太い矢印: CALのラベル
 5分洗浄群は他の表面処理群に比較してインプラント体周囲にCALでラベルされた新生骨が多くみられる。

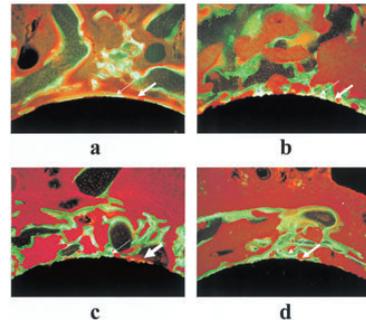


図13 蛍光ラベリング像 (埋入後2週間)
 a: 機械加工 b: 未洗浄 c: 5分洗浄 d: 酸処理
 細い矢印: TCのラベル, 太い矢印: CALのラベル
 5分洗浄群, 未洗浄群, 酸処理群はインプラント体周囲にTC,CALにラベルされた新生骨が多くみられるが、機械加工群ではあまり骨形成はみられない。

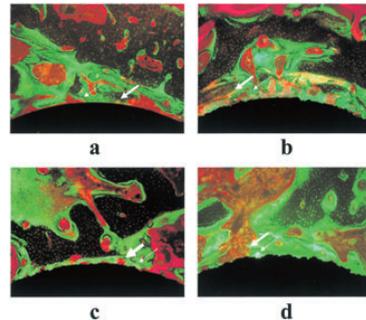


図14 蛍光ラベリング像 (埋入後4週間)
 a: 機械加工 b: 未洗浄 c: 5分洗浄 d: 酸処理
 細い矢印: TCのラベル, 太い矢印: CALのラベル
 機械加工群はインプラント体周囲での活発な新生骨形成がみられるが、他の表面処理群では既存骨の占める割合が多くなってきた。

〔原 著〕

中国（北京）における抜去上顎第一大臼歯の エナメル質表層フッ素濃度

八幡祥子, 広瀬弥奈, 松本大輔, 五十嵐清治

北海道医療大学歯学部小児歯科学講座

Fluoride concentrations in the enamel surfaces of extracted maxillary first permanent molars obtained from Chinese subjects

Shoko YAHATA, Mina HIROSE, Daisuke MATSUMOTO
and Seiji IGARASHI

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Health Sciences University of Hokkaido

Abstract

Fluoride profiles of the enamel surfaces of eight extracted maxillary first molars obtained from subjects living in Beijing in an area where the fluoride concentration in the drinking water is 0.3ppm, were examined to determine the differences in fluoride concentrations at different positions on and in the enamel. The fluoride concentrations of mesiobuccal (MB), distobuccal (DB), mesiolingual (ML), and distolingual (DL) sites were determined at 6 different depths (1, 3, 5, 10, 20, and 30 μm), using the acid etched micro-sampling technique described by Weatherell et al. (1973). Fluoride concentrations were measured with a fluoride ion electrode.

The fluoride concentrations in the enamel of the subjects residing in Beijing were compared with those of subjects residing in Sapporo where the fluoride concentration in the drinking water is 0.02ppm.

The results were as follows.

1. The fluoride concentrations on the enamel decreased from the outer surface of the enamel toward the inner parts for those subjects residing in Beijing.
2. There were no statistically significant differences in the fluoride concentrations of the 4 MB, DB, ML, and DL sites on the enamel surfaces among the subjects residing in Beijing, but the concentrations tended to increase in the order DB, DL, MB, and ML at any depth.
3. Comparing the subjects from Beijing and Sapporo, the fluoride concentrations of the enamel surfaces among the subjects residing in Beijing were statistically significantly higher than in those in Sapporo at any site (at the MB and DB sites of 3 and 5 μm : $p < 0.05$ and at 10, 20, and 30 μm : $p < 0.01$; at the

受付：平成16年9月30日

ML sites of 1 and 3 μ m : $p < 0.05$ and 5, 10, 20, and 30 μ m : $p < 0.01$; at the DL sites at 1, 3, 5, 10, 20, and 30 μ m : $p < 0.01$).

These results indicate that there were differences in the fluoride concentrations on the enamel surfaces of maxillary first molars due to the different fluoride concentrations of the tap water in Beijing and Sapporo.

Key words : Fluoride concentration, Enamel surface, Maxillary first permanent molars, Chinese subjects

緒 言

我々小児歯科医は、カリエスフリーの永久歯列を完成させることを第一の目標にしている。しかし、近年の世界的な齲蝕減少傾向に反し、日本ではカリエスフリーの健全歯列を有する率は依然として少なく^{1,2)}、関係者一同が危惧しているところである。また齲蝕罹患状態においては現在も地域的格差が存在しており、これを解消するためには口腔衛生指導、食事指導などの生活習慣改善型の齲蝕予防活動に加えてフッ化物の応用が不可欠であるといわれている。フッ化物の齲蝕予防メカニズムは、これまで歯質の耐酸性増加と乳酸産生抑制によると考えられてきた。しかし、現在の齲蝕予防に対する概念はイオン化したFがCa,Pなどのミネラルとともに唾液やプラークフルイド（歯垢中の液相）など、歯の表面を直接覆っている溶液環境をエナメル質に対して過飽和状態にすることより、歯表面が脱灰側へ傾斜するのを防ぎ、再石灰化側へ傾斜させるように働く、と考えられている³⁾。この、歯表面上の溶液環境は、口腔内の各部位で均一ではなく、局所の口腔内環境によって影響を受けているといわれている⁴⁻⁷⁾。すなわち、唾液クリアランスの良い部位では絶えず新鮮唾液にさらされることになり、歯質に唾液からのFの供給が多くなるものと推察される。このため歯質の脱灰が生じやすい部位、起こりにくい部位、脱灰が生じてもそれが進行しにくい部位など、齲蝕発生における部位特異性

が生じているものと考えられる。

従って、エナメル質のF濃度を歯面部位別に測定することは、齲蝕罹患における部位特異性の原因を明らかにする一端となるだけではなく、今後の効果的な齲蝕予防法、即ちオーダーメイド医療を確立するうえでも重要な因子と思われる。

エナメル質における研究は現在までに多くの研究が行われているにもかかわらず、エナメル質表層F濃度と齲蝕発生の部位特異性との関連における歯種別および歯面部位別F濃度を詳細に測定し、比較検討した研究は現在のところ認められない。また、中国における抜去歯のエナメル質表層F濃度に関する研究も我々以外皆無である。

そこで本研究では、齲蝕罹患の部位特異性や増加に及ぼす影響について、宿主（歯質）側の要因から明らかにすることを目的として、中国北京市（水道水中F濃度0.3ppm）で得られた上顎第一大臼歯を対象に、マイクロサンプリング法を応用して歯面部位別にエナメル質表層F濃度について測定し、口腔内における部位特異性について検討した。さらに、外的要因の一つである水道水などの生活環境因子と歯のF濃度との関係を検討するため、過去に報告されている札幌市および札幌市近郊（水道水中F濃度0.02ppm）を対象にして行った日本人の同様報告⁸⁾（以下、札幌と略す）と比較した。なお、上顎第一大臼歯を対象とした理由は、その頬側面に耳下腺開口部が近接していることから、頬側と

口蓋側では唾液による影響が異なるため、エナメル質表層F濃度に部位の差が出やすいと判断したことによる。

材料および方法

1. 実験対象歯

試料は、北京大学第二臨床医学院口腔科で歯周病のため抜去された肉眼的に齶蝕が認められない上顎第一大臼歯8歯(32面)である。抜去時年齢、性別および左右別は、平均年齢54歳1か月±11.56S.D., 男性2歯, 女性6歯, 左側7歯, 右側1歯である(以下これらの試料は、北京と略す)。なお、試料は本研究の目的と方法を担当医が説明し、同意の得られた患者から提供されたものである。

2. 実験方法

10%中性ホルマリン溶液中に保存しておいた抜去歯を流水下で24時間洗浄し、自然乾燥後、ブラシコーンで30秒間歯面清掃して使用した。

測定部位は、図1に示すように頬・口蓋側面の近遠心最大豊隆部付近(合計4か所)にネイルバーニッシュで約4mm²のウインドウを作製し測定面とした。バーニッシュ乾燥後、Weath-

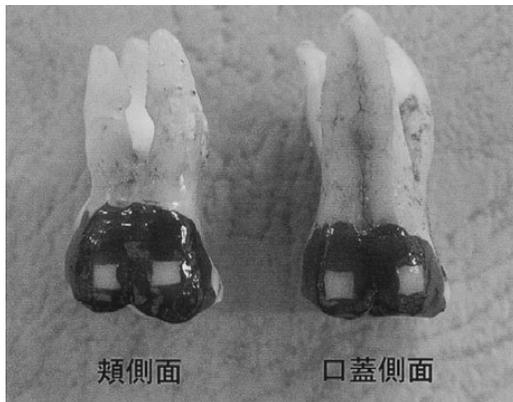


図1 測定部位

測定部位は、上顎第一大臼歯の頬・口蓋側面の近遠心最大豊隆部付近(合計4か所)にネイルバーニッシュで約4mm²のウインドウを作製し測定面とした。

erellら⁹⁾のマイクロサンプリング法を応用し、第1層～第4層までサンプリングした。すなわち、ウインドウ面を0.5Mの過塩素酸5μlで30秒間エッチングし、直ちに溶液をポリエチレンカプセルにミニポンプで吸引、回収した。次に1Mの酢酸ナトリウム緩衝液5μlを同一部位にのせ、同様にミニポンプで吸引し、この操作を4回繰り返して洗い込み、回収した。

吸引回収したサンプル溶液のうち2μlをCaの測定に、残りをFの測定に使用した。Caの測定は原子吸光分析(偏光ゼーマン原子吸光光度計, Z8100型, 日立製作所), Fの測定はHallsworthら¹⁰⁾のFイオン電極法(F電極, 94-09, オリオン社)にて行った。

ウインドウの面積測定は、水野¹¹⁾の方法に従って算出した。表層からの深さは得られたCa量とエッチングした面積から算出した。また、エナメル質のF濃度についてはエナメル質のCa量を36.75wt%¹²⁾, 比重を2.95¹³⁾とし、Caに対するF濃度の相対的な濃度からエナメル質に対するF濃度(ppm)を求めた。次にその歯における任意の深さとF濃度を算出するために中垣ら¹⁴⁾の式、 $y = ax^{-b}$ (x : 深さ(μm), y : F濃度(ppm), a, b : 各歯各部位における定数)にF濃度と脱灰の深さの算出値を代入して、各歯各部位におけるF濃度算出のための定数 a, b を決定した。この式より、任意の深さ(1, 3, 5, 10, 20, 30μmの6段階)でのF濃度を求めた。得られたデータは、平均値±標準誤差(S.E.)で表示した。また、歯面部位別におけるF濃度の差をKruskal-Wallis test, 北京と札幌⁸⁾におけるF濃度の差をMann-Whitney U-testを用いて比較検討した。

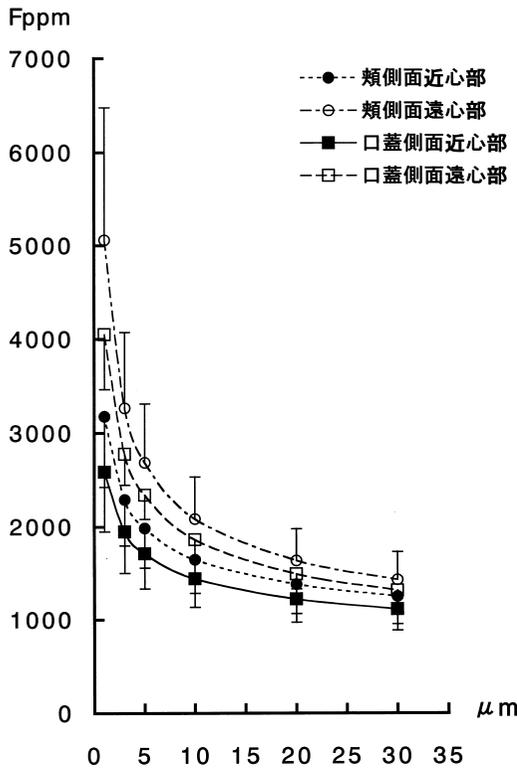


図2 北京における上顎第一大臼歯のエナメル質表層フッ素濃度
 すべての歯面部位において表層でF濃度が高く内部に行くに従って低くなるFの濃度勾配が認められた。

結 果

1. 北京におけるエナメル質表層F濃度について

図2に示すようにすべての歯面部位において表層でF濃度が高く内部に行くに従って低くなること、すなわち、Fの濃度勾配が認められた。

2. 歯面部位別エナメル質表層F濃度

表1は、上顎第一大臼歯の歯面部位別エナメル質表層F濃度とその検定結果 (Kruskal-Wallis test) を示したものである。頬側面近心部、頬側面遠心部、口蓋側面近心部、口蓋側面遠心部の4部位について比較した場合、統計学的な有意差は認められなかったが、1~30μmのすべての深さにおいて頬側面遠心部>口蓋側面遠心部>頬側面近心部>口蓋側面近心部の順にF濃度が高い傾向を示した。

表1 北京における上顎第一大臼歯のエナメル質表層フッ素濃度

| Depth (μm) | 頬側面近心部 | 頬側面遠心部 | 口蓋側面近心部 | 口蓋側面遠心部 | Kruskal-Wallis test |
|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|
| | F(ppm) mean±S.E. | F(ppm) mean±S.E. | F(ppm) mean±S.E. | F(ppm) mean±S.E. | |
| 1 | 3175±750 | 5061±1416 | 2586±640 | 4050±588 | N.S. |
| 3 | 2289±494 | 3266± 804 | 1945±445 | 2775±329 | N.S. |
| 5 | 1984±426 | 2687± 623 | 1711±378 | 2338±256 | N.S. |
| 10 | 1648±363 | 2083± 450 | 1443±306 | 1862±194 | N.S. |
| 20 | 1381±318 | 1636± 340 | 1223±251 | 1491±162 | N.S. |
| 30 | 1250±296 | 1431± 299 | 1112±225 | 1313±152 | N.S. |

上顎第一大臼歯の歯面部位別エナメル質表層F濃度とその検定結果 (Kruskal-Wallis test) を示した。頬側面近心部、頬側面遠心部、口蓋側面近心部、口蓋側面遠心部の4部位について比較した場合、統計学的な有意差は認められなかったが、1~30μmのすべての深さにおいて頬側面遠心部>口蓋側面遠心部>頬側面近心部>口蓋側面近心部の順にF濃度が高い傾向を示した。

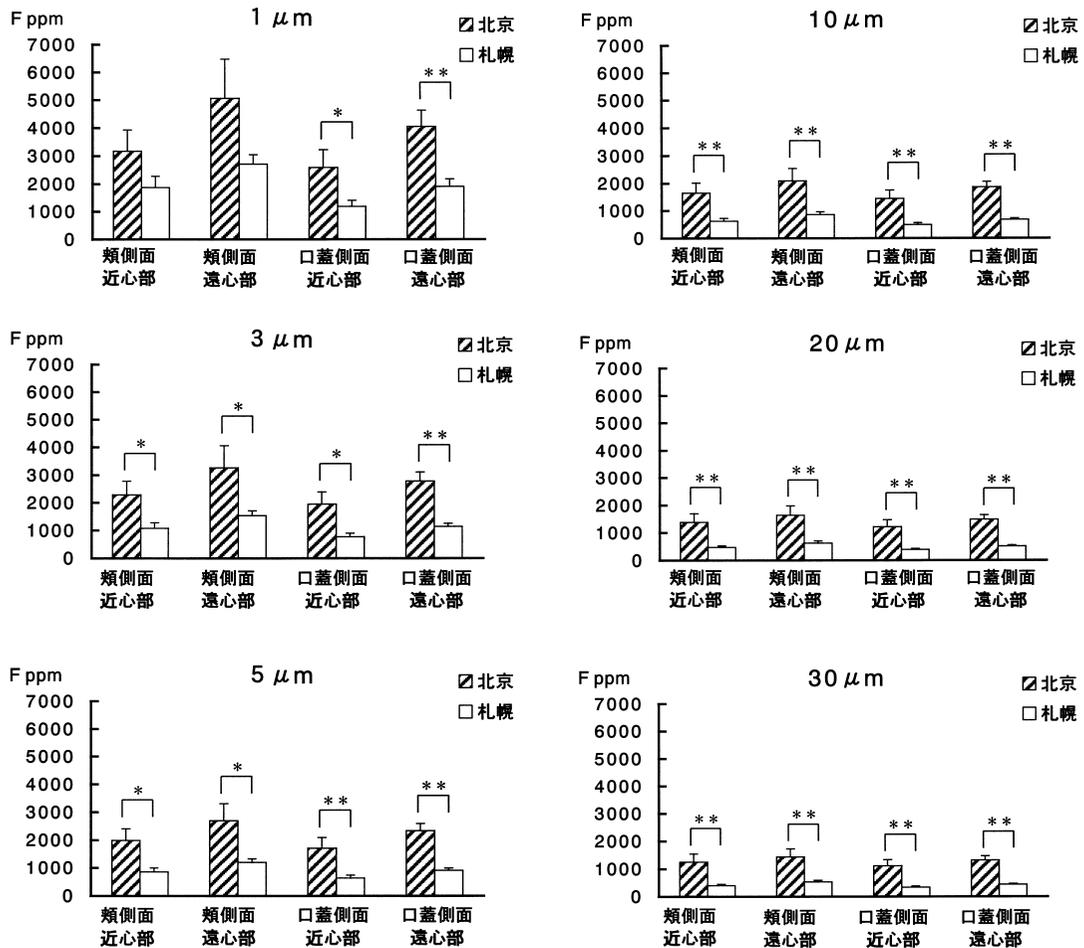


図3 北京および札幌⁸⁾における上顎第一大臼歯エナメル質表層フッ素濃度の比較
 p値: Mann-Whitney U-test (*: p<0.05, **: p<0.01)
 札幌: 丹羽⁸⁾から作図

北京と札幌⁸⁾におけるエナメル質表層F濃度の比較とその検定結果 (Mann-Whitney U-test) を示した。深さ1μmの頬側面近心部および頬側面遠心部を除くすべての深さ・歯面部位において北京のF濃度は、札幌より有意に高かった。

3. 北京と札幌の比較

札幌の測定値⁸⁾については、著者らが以前に札幌および札幌近郊から収集した上顎第一大臼歯を対象に今回と同様の実験方法で分析したものである。図3に北京と札幌⁸⁾におけるエナメル質表層F濃度の比較とその検定結果 (Mann-Whitney U-test) を示した。深さ1μmの頬側面近心部および頬側面遠心部を除くすべての深さ・歯面部位において北京のF濃度は、札幌より有意に高かった。また、図4に示すように北京

と札幌⁸⁾のF濃度差 (ΔFppm: 北京のF濃度から札幌のF濃度を減算した値) は表層で大きく内層ほど小さかった。

考 察

1. 実験対象歯

本研究に用いた歯は、中国北京市 (水道水フロリダーション未実施地域: 水道水中F濃度0.30ppm) にある北京大学第二臨床医学院口腔

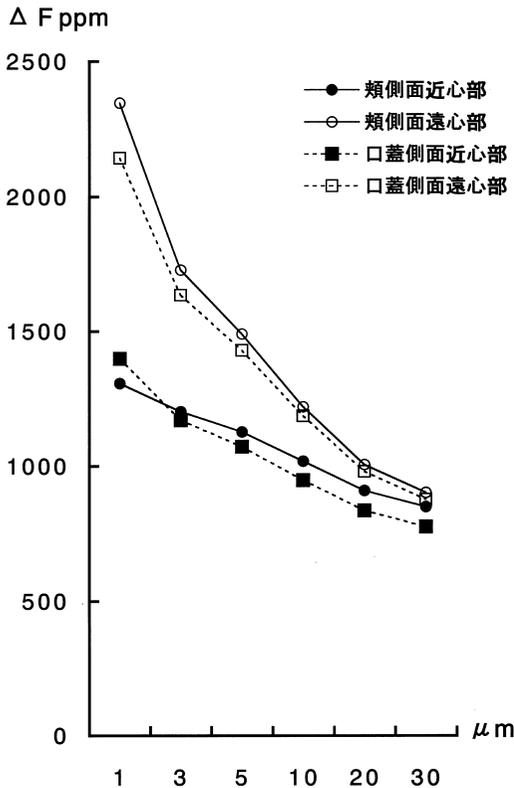


図4 北京および札幌⁸⁾間におけるエナメル質表層フッ素濃度の差 (ΔF ppm)

北京と札幌⁸⁾のF濃度差 (ΔF ppm: 北京のF濃度から札幌のF濃度を減算した値) は表層で大きく内層ほど小さかった。

科の担当医が、本研究の目的と方法を説明し、同意の得られた患者から提供されたものである。今回、提供された抜去歯のうち、肉眼的に齲蝕が認められない歯を無作為に抽出した。使用した歯は、男性2歯、女性6歯の合計8歯で、年齢については平均年齢54歳1か月、左右差については、左側7歯、右側1歯であった。これに対し、札幌および札幌近郊で抜去された歯については肉眼的に齲蝕が認められない20歯で、年齢、性別等は不明であった⁸⁾。

エナメル質表層F濃度は年齢的变化が認められ、約30歳をピークに加齢とともに上昇するが、それ以降は咬耗、磨耗、すりへり (wear) の影響により減少するといわれている^{9,15)}。従

って、抜去時の年齢が明らかな歯を用いるのが望ましいと思われるが、札幌⁸⁾の抜去歯については不明である。しかし、歯表面のすりへり (wear) や咬耗の状態などから推測すると、口腔内に比較的長く残存していたと推察された。さらに、今回用いた歯は、歯周疾患により抜去されたものであるため、平成11年度歯科疾患実態調査値を参考に上顎第一大臼歯の平均寿命を推測すると58歳であったこと¹⁾より、北京における抜去歯の平均年齢54歳1か月と比較してもあまり差がなく影響はないものと判断した。さらに、左右差についてはAasendenら¹⁶⁾が同歯種においては、エナメル質表層F濃度に差がないことを報告していることから、今回は左右の別を規定しなかった。

一方、性差については、Aasenden¹⁷⁾が上顎中切歯では男子の方が女子よりもエナメル質表層F濃度が高いと報告しており、水野ら^{11,18)}は下顎第一小臼歯では女子の方が高いと報告するなど、性差の認められる報告をしている。今回測定した歯についての性差は明らかであるが、本数が少ないため性別で比較することは不可能であった。また、比較に使用した札幌⁸⁾の歯については残念ながら性差は不明であり、可及的に条件を統一する意味でも性差を規定しなかった。

2. エナメル質表層F濃度

1) 北京におけるF濃度について

エナメル質表層のF濃度は、歯の成熟に伴い表層が高く内部に行くに従って低くなるFの濃度勾配の存在が報告されている^{19~22)}。北京の抜去歯においても同様で、表層で高く内部に行くにしたがって低くなるFの濃度勾配が認められた (図2)。この状態は、F濃度と深さの関係式 $y=ax^{-b}$ で表され¹⁴⁾、この式にF濃度と脱灰の深さの算出値を代入し、各歯各部位のF濃度算出のための定数a、bを決定した。各歯各部位の

平均a, bの値は, 頬側面近心部がa: 3175, b: 0.25, 頬側面遠心部がa: 5061, b: 0.31, 口蓋側面近心部がa: 2586, b: 0.21, 口蓋側面遠心部がa: 4050, b: 0.33であった。

2) 北京における歯面部位別の比較

歯面部位別に比較したエナメル質表層F濃度については, 統計学的に部位の差は認められなかった。その理由として水道水のF濃度が比較的高い地域では, エナメル質全体としてのF濃度が高くなるため歯面部位別の差が出にくいのではないかと推測される。この点については, 今後の研究にて検討する予定である。なお, 有意差はなかったものの, 唾液クリアランスの良い部位やプラークの蓄積量の多い部位, すなわち上顎臼歯部頬側面遠心部で, F濃度が高い傾向を示した。反対に唾液クリアランスの悪い部位やプラークの蓄積量の少ない部位, すなわち上顎臼歯部口蓋側面近心部ではF濃度が低い傾向を示した。

この結果を考察するに当り, エナメル質表層F濃度の由来を考える必要がある。Brudevoldら²⁰⁾はこれについて, ①エナメル質形成期間中におけるFの沈着, ②石灰化完了後, 萌出するまでの間の組織液中のFの表層からの取り込み, ③萌出後, 飲料水, 食物, 唾液などに由来するFの取り込み, という3項目に要因を分類しており, これらの相互関係によってエナメル質表層F濃度は, 加齢とともに変化すると述べている。

①および②については, 歯の萌出前の要因であり, 同一時期に形成された部位では歯の形成とともにF濃度はいずれの歯面においても様に上昇していくものと推察される。しかし, ③については歯の萌出後の要因であるが, 当然, 歯の成熟に伴いF濃度も上昇してはいくものと判断される。ところが口腔内環境, 特にFの供給源とされる唾液やプラークなどの影響によ

り, 萌出後のエナメル質表層F濃度は形成時期が同一であっても歯面別, あるいは部位別の差が生じている。すなわち, Charltonら²³⁾, Yardeniら²⁴⁾, Kato²⁵⁾, 高江洲ら²⁶⁾, 黄²⁷⁾の報告では, プラークや歯石がFを供給していることを述べている。

なお, 唾液やプラークによる影響については, 唾液クリアランスが関係しているといわれている。DawesとMacPherson⁴⁾は, 唾液は薄い皮膜状となって口腔内の各部位をそれぞれ異なる速度で移動しており, この移動速度が速い部位は唾液クリアランス能が高い部位であると述べている。従って, 唾液クリアランスの良い部位では絶えず新鮮唾液にさらされることになり, 唾液からのFの供給が多くなるものと推察される。この論理に添って今回の結果を考察・検討すると, 唾液クリアランスの良い部位, すなわち大唾液腺開口部付近の上顎第一大臼歯頬側面ではエナメル質表層F濃度が高い傾向を示し, この仮説が実証された結果を示した。これに対して, 唾液クリアランスの悪い部位, すなわち上顎第一大臼歯口蓋側面ではエナメル質表層F濃度が低い傾向を示した。

さらに唾液クリアランスの良い部位では, プラーク中に産生された酸を迅速に浄化するためにはプラークのpH曲線は浅くなり, プラーク中のミネラルが溶出しにくい環境をつくる。その結果, ミネラルが沈殿しやすくなり, エナメル質表面にFが多く供給される環境にあると思われる。プラークの蓄積量は上顎前歯部が最も少なく, 反対に上顎臼歯部頬側面と下顎臼歯部舌側面が多いことは臨床的にも文献的にも明らかで²⁸⁾, これら蓄積量の多い部位は本研究結果においても同様の結果を示し, エナメル質表層F濃度が高い傾向を示した。また第一大臼歯においては, 遠心側は近心側よりも清掃しづらいためプラークが蓄積しやすい状況にあることから, 遠心側は近心側よりエナメル質表層のF濃

度が高くなったと推察される。

一方、最近ではプラーク中ミネラル (Ca, P, F) 成分の部位特異性が明らかにされている。広瀬ら^{5,7)}は、口腔内を上顎前歯部唇側部・口蓋側部, 下顎前歯部唇側部・舌側部, 左右上顎臼歯部頬側部・口蓋側部, 左右下顎臼歯部頬側部・舌側部の8部位に分割し、各々から得られたプラーク中のミネラル量を測定し、前歯部, 臼歯部の各部位ごとに頬(唇)・舌(口蓋)側で比較している。それによると、下顎前歯部舌側部, 下顎臼歯部舌側部, 上顎臼歯部頬側部にミネラル量が多かったと述べており、エナメル質表層F濃度の分布と同様の部位特異性を示していた。したがって上顎第一大臼歯頬側面はプラーク中ミネラル量が多い部位であり、エナメル質表面にFが多く供給され、エナメル質表層F濃度が高くなったと推察される。

反対にエナメル質表層F濃度を減少させる因子としては、wear (すりへり) の影響が挙げられる。エナメル質表層のF濃度は、約30歳までは加齢とともに上昇するが、その後は絶えずエナメル質表層からFが取り込まれるものの、wear (すりへり) によりF濃度の高い最表層エナメル質が消失するため、表層と内層のF濃度差が小さくなり、F濃度曲線の勾配が小さくなるといわれている^{15,29)}。

本研究で用いたF濃度と深さの関係式 $y=ax^{-b}$ においては¹⁴⁾、bの大きさは曲線の勾配を表すので、bの値が小さいほど、wear (すりへり) によるF濃度の減少が考えられる。今回測定した上顎第一大臼歯におけるbの平均値は、頬側面近心部0.25, 頬側面遠心部0.31, 口蓋側面近心部が0.21, 口蓋側面遠心部0.33と口蓋側面近心部において数値がやや低くなっている。これは、上顎第一大臼歯においては、近心舌側咬頭が食物の咀嚼時など下顎第一大臼歯の中央小窩に嵌合する機能咬頭であるので口蓋側面近心部は、wear (すりへり) が生じやすく、表層のF

濃度が減少したため、他の3部位と比較するとF濃度が低かったものと判断される。

3) 北京と札幌の比較

歯種および、歯面別におけるエナメル質表層F濃度の分布は、先に考察した如く、各歯の植立位置関係と唾液の流れ、歯垢の付着、またはwear (すりへり) などが相互に関連して、生じるものと思われる。その他に、飲食物や歯科用フッ化物製剤の使用の有無など、生活環境の違いによっても影響を受けるものと考えられる。そこで著者らは、生活環境の異なると思われる北京と札幌の抜去下顎中切歯のエナメル質表層F濃度を比較するとともに、両国間の口腔清掃習慣、およびエナメル質表層F濃度に影響を与えると思われる要因を把握するため、以下の項目についてアンケート調査を実施し過去に報告した³⁰⁾。その内容は、(1) お茶等の摂取状況、(2) 飲料水の摂取状況、(3) 歯磨き習慣とその状況、(4) フッ化物歯面塗布の有無、(5) フッ化物配合歯磨剤の使用状況について、である。これらアンケート項目の中で、エナメル質表層F濃度の由来との関連性を考えた場合、お茶や飲料水の摂取状況についてはBrudevoldら²⁰⁾の示す①②③のすべての要因が、またフッ化物歯面塗布の有無およびフッ化物配合歯磨剤の使用状況については、③の要因が関連していると考えた。

本研究においては、エナメル質表層F濃度は、深さ1 μ mの頬側面を除くすべての深さ歯面・部位において、北京の方が札幌よりも有意に高かった。その理由としては水道水中のF濃度の差が考えられる。北京においては水道水のフッ素濃度は、0.29ppmと報告されている³¹⁾が、過去に著者らが測定した結果³⁰⁾も0.30ppmとほぼ同様の値を示した。一方、札幌の抜去歯⁸⁾は札幌および札幌近郊の歯科医院から収集したものであり、これらの地区6か所の水道水を測定した結果³⁰⁾、F濃度は0.02ppmを示し、

北京の方が15倍の高濃度のFを含んでいた。なお、頬側面最表層のみ統計学的に有意差がでなかった理由としては、耳下腺開口部に近い部位であるため、最表層はその影響を最も受けやすくF濃度が高くなり、札幌との差がでにくいのではないかと推察された。また、図4に示すように、北京と札幌⁸⁾のF濃度差 (ΔF_{ppm} : 北京のF濃度から札幌のF濃度を減算した値) は表層で大きく内層ほど小さかった。これは、①②の要因に加えてさらに③の要因が大きいと思われる。すなわち、歯の萌出前のみならず歯の萌出後、水道水中のFがエナメル質表層から取り込まれたため、水道水中のF濃度が高い北京の方が、表層から多くのFを取り込んでいることを示したものであると推察された。

飲料水のF濃度とエナメル質の関係については、Speirs³²⁾がフッ化物添加地区 (F: 2 ppm) のエナメル質表層F濃度は、非添加地区 (F: 0.25ppm) より2~3倍高い濃度を示したと報告している。また、Yoonら²²⁾は飲料水中F濃度が増すとエナメル質の全層においてF濃度が増加したと報告している。さらにShannonら³³⁾は飲料水中のF濃度の異なる8地区のエナメル質表層を一層のみ (12~16 μ m) F濃度を測定したところ、飲料水中のフッ素濃度に比例して、エナメル質表層のF濃度が増加していることを報告している。このことから、これらの報告は、北京と札幌のエナメル質表層F濃度を比較した場合に、水道水のF濃度が高い北京の方がエナメル質表層F濃度も高かったという今回の結果と一致しており、本研究結果を裏付けるものと判断される。

また、アンケート調査の結果³⁰⁾からは、北京の方が札幌より水道水を高頻度に摂取していることが明らかとなった。したがって、高濃度のFを含む水道水を高頻度に摂取することで、①②の要因である、歯冠萌出前に組織液からFを多く取り込むこと、加えて③の要因である、萌

出後水道水からFを多く取り込むことにより、北京の方がエナメル質表層のF濃度が有意に高くなったと推察される。一方、お茶等の摂取状況では反対に札幌の方が有意に摂取頻度が高かった。また、‘あまり飲まない’と答えているものも北京においては50.96%と半数を超え、中国人はよくお茶を飲むというイメージに反した結果であった。また、札幌はお茶等を‘毎日飲む’と答えている人が91.55%と大多数を占めているが、お茶よりもコーヒーを飲んでいる者が多かった。

さらに、エナメル質表層F濃度を上昇させる因子としては、③の要因の1つである歯科用フッ化物製剤の影響が考えられる。しかし、アンケート調査の結果³⁰⁾からは、フッ化物歯面塗布およびフッ化物配合歯磨剤の影響については両国間で有意な差は認められなかった。したがって、これらフッ化物製剤由来のFが、両国間のエナメル質表層F濃度に差を生じさせている可能性は極めて低いと判断される。

以上の他にエナメル質表層のF濃度に影響を与える因子としては、食生活が考えられる。しかし、成人が食事から1日に摂取するF量についてはTeves³⁴⁾が1.8mg、San Filippoら³⁵⁾が2.1~2.4mgと述べており、Singerら³⁶⁾の報告した0.9~1.7mgともほぼ同じ値を示している。また、日本人については飯塚³⁷⁾が0.48~2.64mg、鮫島³⁸⁾が1.3~2.7mg、齊藤³⁹⁾が1.52~2.10mgと報告しておりほぼ同じ摂取量の範囲を示している。したがって、食事から摂取するF量については地域差がほとんどないと考えられ、北京と札幌においても平均的には大きな差はないものと判断される。

一方、北京および札幌の口腔衛生に関する生活習慣情報を得るために行った歯磨きの習慣についての調査³⁰⁾では、双方とも毎日磨いている者が大多数を占めており、有意差は認められなかった。また、大学病院に通院している患者とい

う点から考えても、口腔衛生に対する関心度は両者ともに高いと判断され、大きな差はないものと思われる。

今後は、エナメル質表層F濃度に影響を与えらると思われる唾液やプラークについても調査したいと考えている。

結 論

齲蝕罹患の部位特異性や増加に及ぼす影響を、宿主（歯質）側の要因から明らかにするために、中国人（北京）の抜去上顎第一大臼歯（頬側面近心部、頬側面遠心部、口蓋側面近心部、口蓋側面遠心部の4部位）を対象に、酸エッチングによるマイクロサンプリング法を応用してエナメル質表層F濃度を測定した。また、過去に報告した日本人（札幌）の同様報告⁸⁾と比較検討し、以下の結論を得た。

1. 中国人（北京）の抜去上顎第一大臼歯エナメル質表層F濃度は、すべての歯面部位において表層でF濃度が高く内部に行くに従って低くなること、すなわち、Fの濃度勾配が認められた。
2. 中国人（北京）の抜去上顎第一大臼歯エナメル質表層F濃度は、歯面部位別に比較した場合、いずれの深さにおいても統計学的有意差は認められなかったが、測定したすべての深さにおいて頬側面遠心部、口蓋側面遠心部、頬側面近心部、口蓋側面近心部の順にF濃度が高い傾向を示した。
3. 生活環境因子の一つである水道水中のF濃度が高かった中国人（北京）の抜去上顎第一大臼歯エナメル質表層F濃度は、日本人（札幌）より有意に高かった（頬側面近心部および頬側面遠心部の3, 5 μm : $p < 0.05$, 10, 20, 30 μm : $p < 0.01$, 口蓋側面近心部の1, 3 μm : $p < 0.05$, 5, 10, 20, 30 μm : $p <$

0.01, 口蓋側面遠心部の1, 3, 5, 10, 20, 30 μm : $p < 0.01$).

これらの結果から北京における上顎第一大臼歯のエナメル質表層F濃度が札幌より有意に高い理由として、北京の方が札幌より水道水中のF濃度が約15倍高いためと考えられた。

謝 辞

稿を終えるにあたり、本研究に貴重な御指導と御助言を賜りました北海道医療大学歯学部口腔生化学講座 田隈泰信教授、同じく歯科理工学講座 大野弘機教授に深く感謝致します。さらに、本研究に終始御協力いただきました北京大学第二臨床医学院口腔科 高 承志先生ならびに同科の皆様にご心から感謝の意を表しますとともに、本研究の主旨をご理解いただき御協力下さいました患者の皆様にも厚く御礼申し上げます。

本研究を遂行するにあたり、終始御理解と御協力いただきました北海道医療大学歯学部小児歯科学講座の皆様にご心から感謝致します。

文 献

- 1) 厚生労働省医政局歯科保健課：平成11年歯科疾患実態調査報告。口腔保健協会：163, 2001.
- 2) 熊谷 崇, 熊谷ふじ子, 藤木省三, 岡 賢二, Brathall, D.: クリニカルカリオロジー。第1版 医歯薬出版：14, 1996.
- 3) 中垣晴男, 丹羽源男, 神原正樹：臨床家のための口腔衛生学。改訂第1版 永末書店：127-133, 2000.
- 4) Dawes, C. and MacPherson, L. M. D.: The distribution of saliva and sucrose around the mouth during the use of chewing gum and the implications for the site-specificity of caries and calculus deposition. J. Dent. Res. 72 : 852-857, 1993.
- 5) 広瀬弥奈, 松本大輔, 八幡祥子, 五十嵐清治：歯垢中ミネラル (Ca, P, F) 量の口腔内部位特異性について。小児歯誌 38 : 965-971, 2000.

- 6) 広瀬弥奈, 八幡祥子, 松本大輔, 丹下貴司, 五十嵐清治: 歯垢中ミネラル (Ca, P, F) の各成分間における部位別相互関係について. 小児歯誌 39: 1010-1016, 2001.
- 7) Hirose, M., Yahata, S., Matsumoto, D., Sakaguchi, N., Tange, T., Igarashi, S.: The relationship between site-specific mineral ion contents in dental plaque and salivary flow rates obtained from young adults. *Ped. Den. J.* 13: 17-21, 2003.
- 8) 丹羽弥奈: 上顎第一大臼歯のエナメル質表層フッ素濃度に関する研究 第1報 マイクロサンプリング法による抜去歯での検討. 小児歯誌 32: 100-109, 1994.
- 9) Weatherell, J. A., Hallsworth, A. S. and Robinson, C.: The effect of tooth wear on the distribution of fluoride in the enamel surface of human teeth. *Archs. oral Biol.* 18: 1175-1189, 1973.
- 10) Hallsworth, A. S., Weatherell, J. A. and Deutsch, D.: Determination of subnanogram amounts of fluoride with the fluoride electrode. *Anal. Chem.* 48: 1660-1664, 1976.
- 11) 水野照久: 性別にみたヒト下顎第一小臼歯におけるエナメル質表層フッ素濃度. 口腔衛生会誌 39: 675-683, 1989.
- 12) Lazzari, E. P. (葛谷博磁, 永津俊治, 早川太郎, 原田 実): Lazzari口腔領域の生化学 (Dental Biochemistry. 2nd ed.). 第1版, 医歯薬出版: 6-7, 1977.
- 13) Jenkins, G. N. (河村洋二郎): ジェンキンス口腔の生理・生化学 (The Physiology and Biochemistry of The Mouth. 4th ed.). 第4版, 医歯薬出版: 41-46, 1977, .
- 14) 中垣晴男, 石井拓男, 藤垣展彦, 鶴飼 基, 小林壮之祐, 榎原悠紀田郎: エナメル質表層フッ素量とエナメル質溶解性との関係. 口腔衛生会誌 28: 519-530, 1979.
- 15) 井上一彦, 樋出守世, 高江洲義矩: 日本人小臼歯のフッ化物濃度分布の年齢別解析. 歯科学報 94: 119-140, 1994.
- 16) Aasenden, R. and Moreno, E. C.: Evaluation of biopsy data in human enamel fluoride studies. *Archs. oral Biol.* 16: 1413-1426, 1971.
- 17) Aasenden, R.: Fluoride concentrations in the surface tooth enamel of young men and women. *Archs. oral Biol.* 19: 697-701, 1974.
- 18) Mizuno, T., Nakagaki, H., Weatherell, J. A. and Robinson, C.: Differences in fluoride concentrations in the enamel surfaces of lower first premolars from young human males and females. *Archs. oral Biol.* 35: 977-981, 1990.
- 19) Jenkins, G. N. and Speirs, R. L.: Distribution of fluoride in human enamel. *J. Physiol.* 121: 21-22, 1953.
- 20) Brudevold, F., Gardner, D. E. and Smith, F. A.: The distribution of fluoride in human enamel. *J. Dent. Res.* 35: 420-429, 1956.
- 21) Isaac, S., Brudevold, F., Smith, F. A. and Gardner, D. E.: Solubility rate and natural fluoride content of surface and subsurface enamel. *J. Dent. Res.* 37: 254-263, 1958.
- 22) Yoon, S. H., Brudevold, F., Gardner, D. E. and Smith, F. A.: Distribution of fluoride in teeth from areas with different levels of fluoride in the water supply. *J. Dent. Res.* 39: 845-856, 1960.
- 23) Charlton, G., Blainey, B. and Schamschula, R. G.: Associations between dental plaque and fluoride in human surface enamel. *Archs. oral Biol.* 19: 139-143, 1974.
- 24) Yardeni, J., Gedalia, I. and Kohn, M.: Fluoride concentration of dental calculus, surface enamel and cementum. *Archs. oral Biol.* 8: 697-701, 1963.
- 25) Kato, K.: Estimation of the factors influenced in fluoride retention within dental plaque in vivo. *Cariology Today* 1: 31-36, 2000.
- 26) 高江洲義矩, 飯島洋一: エナメル質表層におけるフッ素とその反応様式. 須賀昭一, 石井俊文編 齲蝕感受性 エナメル質表層の構造と組成, 口腔保健協会: 117-132, 1976,
- 27) 黄 士麟: 日本人, 中国人およびイギリス人の歯石中のフッ素濃度分布. 愛院大歯誌 34: 435-445, 1996.
- 28) Nikiforuk, G.: Understanding Dental Caries, 1 Etiology and Mechanisms, Basic and Clinical Aspects. Karger: 125-127, 1985.
- 29) Weatherell, J. A., Robinson, C. and Hallsworth, A. S.: Changes in the fluoride concentration of the labial enamel surface with age. *Caries Res.* 6: 312-324, 1972.
- 30) 八幡祥子, 広瀬弥奈, 丹下貴司, 高 承志, 五十嵐清治: 中国人のエナメル質表層フッ素濃度と生活環境因子との関連-抜去下顎中切歯の分析とアンケート調査-. 小児歯誌 38: 595-604, 2000.
- 31) 武井 勉, 大嶋 隆, 中田 稔, 神山紀久男, 小野博志, 長坂信夫 他: 中国人小児の歯科疾患と歯科的特質に関する実態調査-齲蝕活動性について

- 一. 平成2, 3年度 文部省科学研究費補助金(国際学術研究)研究成果報告書: 165-187, 1992.
- 32) Speirs, R. L. : The uptake, exchange and release of fluorides at the surfaces of the teeth. *Brit. Dent. J.* **104** : 347-348, 1958.
- 33) Shannon, I. L. and Trodahl, J. N. : Effect of waterborne fluoride on fluoride concentration and solubility of dental enamel. *Aust. Dent. J.* **22** : 428-431, 1977.
- 34) Taves, D. R. : Dietary intake of fluoride ashed (total fluoride) v. unashed (inorganic fluoride) analysis of individual foods. *Br. J. Nutr.* **49** : 295-301, 1983.
- 35) San Filippo, F. A. and Battistone, G. C. : The fluoride content of a representative diet of the young adult male. *Clin. Chim. Acta* **31** : 453-457, 1971.
- 36) Singer, L., Ophang, R. H. and Harl and, B. F. : Fluoride intake of young male adult in the United States. *Am. J. Clin. Nutr.* **33** : 328-332, 1980.
- 37) 飯塚喜一: フッ素に関する衛生学的研究 第2編 日本におけるヒト歯牙, 食品および上水道水中のフッ素量. *日衛誌* **19** : 1-7, 1964.
- 38) 鮫島一男: 日本人弗素摂取量に関する研究. *口腔衛生会誌* **8** : 37-45, 1958.
- 39) 齊藤博業: 日本人青年男子の日常摂取する食餌の弗素含有量に関する研究. *防衛衛生* **7** : 313-325, 1960.

〔原 著〕

矯正用金属製装置の異種金属接触腐食挙動に関する研究 —生理食塩水中における腐食電位の測定—

湯浅壽大¹⁾, 遠藤一彦²⁾, 飯嶋雅弘¹⁾, 米倉康之¹⁾, 大野弘機²⁾, 溝口 到¹⁾¹⁾北海道医療大学歯学部矯正歯科学講座²⁾北海道医療大学歯学部歯科理工学講座

Study of dissimilar metal corrosion of orthodontic metallic appliances —Corrosion potentials measured in saline solution—

Toshihiro YUASA¹⁾, Kazuhiko ENDO²⁾, Masahiro IJIMA¹⁾,
Yasuyuki YONEKURA¹⁾, Hiroki OHNO²⁾, Itaru MIZOGUCHI¹⁾Departments of ¹⁾Orthodontics and ²⁾Dental Materials Sciences, School of Dentistry, Health Sciences
University of Hokkaido

Abstract

The free corrosion potential of commercially available orthodontic appliances was measured in 0.9% NaCl solution to assess the galvanic corrosion that can be observed when more than two metallic appliances with different compositions are in contact with each other in oral environments. Eight kinds of metallic brackets, twenty one kinds of archwires, and four kinds of coil springs were employed in this study. The compositions of the specimens were determined using an energy dispersive X-ray fluorescence analyzer. The free corrosion potential in the 0.9% NaCl solution at 37°C was measured for 168 h (7 days) using an electrometer. Comparing the corrosion potential values of the archwires after the 168 h-immersion, stainless steel wires exhibited the highest (noblest) value, followed by Co-Cr-Ni alloy wires, Ni-Ti alloy wires, and β -Ti alloy wires. The corrosion potential of the coil springs made of stainless steel and twisted stainless steel wire was lower (less noble) than that of the stainless steel arch wires. There was a statistically significant difference in the corrosion potential values of stainless steel brackets with similar compositions. Single piece type brackets had higher corrosion potentials than two piece type brackets made by soldering or welding. The remarkably low corrosion potential value of the two piece type brackets suggests that the contact point between wing and base is a corrosion susceptible site when these brackets are used in contact with the archwires employed in this study. Considering galvanic corrosion, Ti brackets are recommended because Ti brackets would be anodic with respect to most archwires and would protect the

受付：平成16年9月30日

wires they are in contact with from corrosion, resulting in a reduced amount of allergenic metal ions such as Ni, Co, and Cr ions released.

Key words : Free corrosion potential, Orthodontic appliance, Galvanic corrosion

緒言

矯正臨床で使用されているブラケット、ワイヤー、バンドおよびコイルスプリングなどの装置は、ステンレス鋼、Co-Cr-Ni合金、Ni-Ti合金、純Tiおよび β -Ti合金で作製されている¹⁾。保存・補綴臨床では、金合金や金銀パラジウム合金などの貴金属合金を使用して咬合状態を回復することが多い。これに対して矯正臨床では、卑金属合金を多用して治療しているのが特徴である。

一般的に卑金属合金は、貴金属合金と比較して耐食性が低い。また、純Tiと β -Ti合金を除き、矯正臨床で使用されている卑金属合金は、いずれも金属アレルギーの感作源として代表的な金属であるNiを含有している²⁻⁷⁾。また、ステンレス鋼ならびにCo-Cr-Ni合金に配合されているCrやCoなどの金属元素もアレルギー性が高いことが知られている⁸⁻¹⁰⁾。したがって、金属アレルギーの観点から矯正装置の免疫学的な安全性を評価するためには、まず、これらの装置の耐食性や溶出する金属イオンを定量的に評価する必要がある。

矯正臨床における材料使用上のもう一つの特徴は、ブラケット、ワイヤー、バンドおよびコイルスプリングなどの装置を組合せて使用することである。水分が存在する環境下で、成分・組成の異なる金属材料を接触させて使用すると、それらの材料の電位差によって腐食電池を形成し、腐食電位の低い材料がアノード（陽極）となって腐食する。この現象は、異種金属接触腐食として知られている¹¹⁻¹⁵⁾。したがって、金属材料の使用に際しては、異なった金属

を電氣的に接触させないように、材料を選択して使用することが望ましい。しかし、矯正臨床では、前述のように口腔内で複数の装置を組合せて使用しているため、装置の組合せによっては、腐食反応が著しく加速され、アレルギー性の高い金属イオンが多量に溶出することが懸念される。

そこで本研究では、各矯正装置の腐食電位を測定することによって、異種金属接触腐食の駆動力となる装置間の電位差を評価するとともに、組合せて使用する際にアノードとなって腐食が加速される装置を特定することを目的とした。前述したように、異種金属接触腐食は、成分・組成の違いによって生じる異種金属間の電位差が駆動力となって起こることから、市販されている各種矯正用金属製装置の成分・組成を蛍光X線分析法で調べるとともに、腐食電位を生理食塩水中で測定した。これらの基礎データに基づいて、異種金属接触腐食の観点から、各種矯正用金属製装置を組み合わせる使用することの妥当性を検討した。

材料および方法

1. 材料

実験には、市販されている8種類の金属製ブラケット、21種類のワイヤーおよび4種類のコイルスプリングを用いた。これらの金属製装置は、すべて市販されているままの表面状態にて実験に供した。各装置を構成している材料の成分・組成は、蛍光X線分析装置（JSX-3200、日本電子、東京）を用いて、定性分析および定量分析を行って求めた。蛍光X線測定は、Rhをタ

ターゲットとして用い、管電圧15kV、管電流200mAの条件下で行った。定量分析は、装置に付属しているソフトウェアを用いて、ファンダメンタルパラメータ法（FP法）で行った。

2. 腐食電位の測定

図1に製作した腐食電位測定用の試料を示す。各試料には導線を接続し、接続部を絶縁するためにネイルバニッシャーで被覆後、さらにエポキシレジンで被覆した。ワイヤーとコイルスプリングの切断面は、局部腐食の発生サイトとなる可能性があるため、エポキシレジンで被覆した。ブラケットは背面に導線を接続し、接続部をレジンで被覆した。各金属製装置について3個の電極を作製した（ $n=3$ ）。腐食電位は、エレクトロメーター（POTENTIostat / GALVANostat2090, 東方技研, 東京）を用い、銀・塩化銀電極を基準に測定した。腐食試験液には0.9%NaCl溶液を用いた。腐食液の温度は、恒温槽内で37℃に保った。腐食液の脱気や通気は特に行わず、大気開放系にて試料を浸漬した。腐食電位の測定は、試料の浸漬直後から168時間（7日）まで行った。

結果

1. 矯正用金属製装置の成分・組成

Table 1に実験に使用した矯正用金属製装置の成分・組成を蛍光X分析法で調べた結果を合金別に示す。ステンレス鋼は、ワイヤー、ブラケットならびにコイルスプリングに使用されている。ステンレス鋼の耐食性に大きく影響するCr含有量は、いずれの装置においても15~18mass%であり、装置間ならびに製品間で大きな差は認められなかった。Co-Cr-Ni合金はワイヤーに使用されている。いずれのワイヤーにおいても、線引加工をしやすくするためにNiとFeがそれぞれ16-18mass%、15-23mass%配合されている。Ni-Ti合金は、アーチワイヤーやコイル

スプリングに使用されている。ほとんどの製品において、ほぼ等原子比の二元合金が使用されている。しかし、応力ヒステリシスの減少や繰り返し応力に対する超弾性の安定化を目的として、Cuを約5mass%配合したワイヤーも使用されている。β-Ti合金はアーチワイヤーに使用されている。この合金はTiを主成分とし、11mass%のMo、6mass%のZrを含有している。その他の成分としては、微量のSnやAlが添加されている。純Tiは加工が困難であり、ブラケットの部材として使用されているが、ワイヤーやコイルスプリングには使用されていない。

2. 腐食電位の時間変化

Fig. 2に0.9%NaCl溶液中におけるステンレス鋼製ワイヤーの腐食電位の時間変化を示す。RESPONDを除く5種類のワイヤーの腐食電位は、浸漬直後に比較的大きな変化を示したが、浸漬5時間以降は安定し徐々に貴な方向に移行した。浸漬168時間（7日）における腐食電位の値は、5種類のワイヤー間で大きな差はなく、その値はおおよそ200~300mVであった。撚り加工されたRESPONDの腐食電位は、浸漬初期から大きく変動することなく約-150mVであり、他のステンレス鋼製ワイヤーと比較すると、350~450mV低かった。腐食電位の値ならびに時間変化の傾向にステンレス鋼の成分・組成の影響は特に認められなかった。

Fig. 3に0.9%NaCl溶液中におけるNi-Ti合金製ワイヤーの腐食電位の時間変化を示す。いずれのワイヤーにおいても、腐食電位の急激な変動や大きな変化は見られなかった。Cuを約5%含有するcopper Ni-Ti superelastic At 27℃とcopper Ni-Ti superelastic At 35℃の腐食電位は、他のワイヤーよりも貴な値を示した。Cuを含有しない4種類のNi-Ti合金製ワイヤーの腐食電位は、おおよそ-50~+50mVであった。

Fig. 4に0.9%NaCl溶液中におけるCo-Cr-Ni

Table 1 Chemical composition of orthodontic appliances employed in this study

| Alloy | appliance | propduce name | manufacturer | Ni | Ti | Fe | Cr | Co | Mn | Cu | Mo | others | |
|---------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------|-------|------|------|------|------|------|-----|------|-------------------|----------|
| STAINLESS | wire | Noninium | DENTAURUM | 1.8 | | 64.7 | 17.6 | | 13.1 | | 1.9 | Si (0.9) | |
| | | remanium | DENTAURUM | 8.4 | | 72.8 | 17.0 | | 0.9 | | | Si (0.9) | |
| | | STAINLESS-STEEL | ORMCO | 8.7 | | 71.8 | 18.1 | | 1.0 | | | Si (0.4) | |
| | | RESPOND | ORMCO | 9.0 | | 70.7 | 18.4 | | 1.2 | | | Si (0.7) | |
| | | SUS WIRE | Sankin | 8.8 | | 71.8 | 17.9 | | 1.0 | | | Si (0.5) | |
| | | Stainless-Steel | 3M Unitek | 9.1 | | 70.8 | 18.4 | | 1.0 | | | Si (0.7) | |
| STEEL | bracket | Ultra-Minitrim | DENTAURUM | 9.7 | | 70.2 | 16.9 | | 1.2 | 1.2 | 0.4 | Si (0.4) | |
| | | MINI DIAMOND | ORMCO | 8.3 | | 71.6 | 15.2 | | 0.5 | 2.4 | 0.8 | Si (1.2) | |
| | | one piece bracket | RMO | 10.2 | | 68.6 | 16.8 | | 0.5 | 3.2 | 0.2 | Si (0.5) | |
| | | METAL BRACKET | Sankin | 9.6 | | 67.7 | 17.6 | | 0.4 | 1.6 | 1.2 | Si (1.9) | |
| | | micro arch bracket | TOMY | 6.3 | | 72.7 | 15.7 | | 0.4 | 3.2 | 0.5 | Si (1.2) | |
| | | APC II Adhesive Coated Appliance | 3M Unitek | 4.1 | 0.90 | 66.5 | 14.7 | | 0.1 | 1.7 | 0.1 | Si (11.9) | |
| | | MINIATURE TWIN | 3M Unitek | 3.9 | | 74.7 | 17.3 | | 0.3 | 2.5 | | Si (1.3) | |
| | coil spring | remanium open coil spring | DENTAURUM | 8.3 | | 72.3 | 17.4 | | 0.5 | | | | Si (1.5) |
| | | Coil Spring | ORMCO | 13.4 | | 67.1 | 18.0 | | 1.0 | | | | Si (0.5) |
| | COBALT- CROMIUM- NICKEL | wire | AZURLOY | ORMCO | 15.7 | | 15.4 | 19.4 | 39.5 | 2.1 | | 7.0 | Al (0.9) |
| ELGILOY BLUE | | | RMO | 16.6 | | 15.0 | 19.1 | 40.2 | 2.0 | | 7.1 | | |
| ELGILOY YELLOW | | | RMO | 16.6 | | 15.1 | 19.0 | 40.4 | 1.8 | | 7.1 | | |
| TECHNOFLEX | | | RMO | 15.7 | | 15.3 | 19.4 | 39.5 | 2.1 | | 7.0 | Al (1.0) | |
| ELLASLOY WIRE | | | Sankin | 16.8 | | 13.6 | 20.0 | 41.1 | 1.6 | | 6.9 | | |
| SPRON BLUE | | | TOMY | 17.9 | | 22.7 | 11.7 | 39.8 | 0.8 | | 4.0 | Si, Ti (3.1) | |
| SPRON YELLOW | | | TOMY | 18.0 | | 23.4 | 11.5 | 39.7 | 0.8 | | 4.0 | Si, Ti (2.6) | |
| NICKEL- TITANIUM | wire | copper NI-TI superelastic At 27°C | ORMCO | 51.3 | 43.5 | | | | | | 5.2 | | |
| | | copper NI-TI superelastic At 35°C | ORMCO | 51.1 | 43.6 | | | | | | 5.3 | | |
| | | NI-TI | ORMCO | 57.5 | 42.5 | | | | | | | | |
| | | SENTALLOY | TOMY | 57.4 | 42.6 | | | | | | | | |
| | | Nitinol Classic | 3M Unitek | 57.1 | 42.9 | | | | | | | | |
| | | Nitinol Super Elastic | 3M Unitek | 57.4 | 42.6 | | | | | | | | |
| coil spring | NI-TI COIL SPRINGS | ORMCO | 58.6 | 41.4 | | | | | | | | | |
| | open coil spring | TOMY | 58.7 | 41.3 | | | | | | | | | |
| β -TITANIUM | wire | TMA | ORMCO | | 76.3 | | | | | | 11.0 | Al, Sn, Zr (13.7) | |
| | | Beta III Titanium | 3M Unitek | | 77.5 | | | | | | 11.2 | Sn, Zr (11.3) | |
| TITANIUM | bracket | rematitan | DENTAURUM | | 99.9 | | | | | | | | |

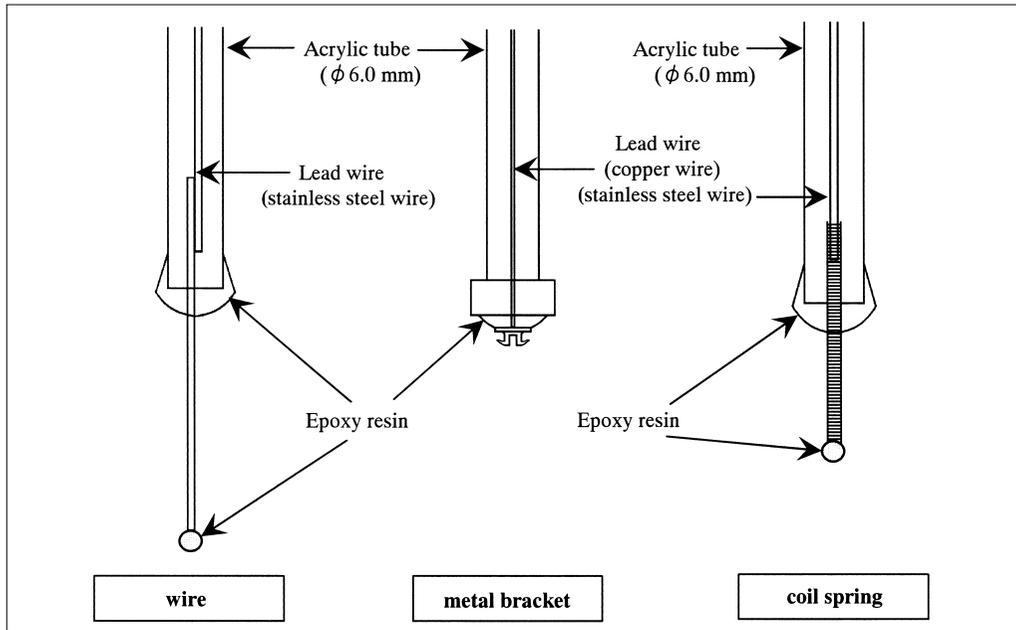


Figure1 Design of working electrodes for measuring corrosion potential.

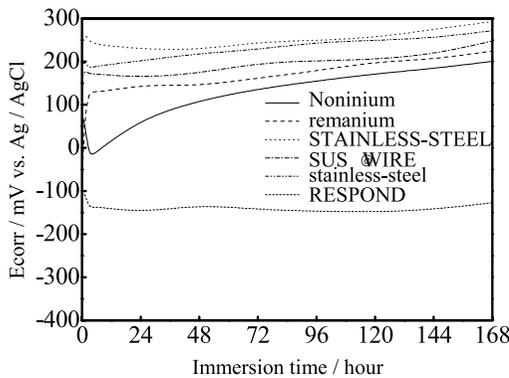


Figure 2 Variations in the corrosion potential (E_{corr}) with time for stainless-steel wires in 0.9% NaCl solution at 37°C.

合金製ワイヤーの腐食電位の時間変化を示す。浸漬直後には腐食電位が低くなるワイヤーも見られたが、浸漬3時間以降では、いずれのワイヤーにおいても腐食電位は緩やかに貴な方向へと移行した。浸漬168時間における腐食電位の値は、+80~+250mVであった。Co-Cr-Ni合金における腐食電位の値ならびに時間変化の傾向に成分・組成の影響は特に認められなかった。

Fig. 5 に0.9%NaCl溶液中におけるβ-Ti合金

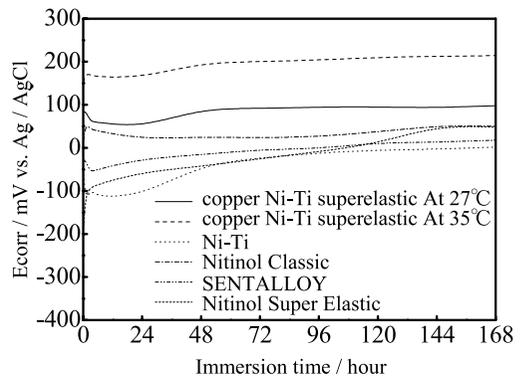


Figure 3 Variations in the corrosion potential (E_{corr}) with time for nickel-titanium wires in 0.9% NaCl solution at 37°C.

製ワイヤーの腐食電位の時間変化を示す。腐食電位の時間的な変化は、2種類のワイヤーともに極めて小さかった。両ワイヤーともに、浸漬168時間における腐食電位の値は、およそ+120 mVであった。

Fig. 6 に0.9%NaCl溶液中における6種類のステンレス鋼製ブラケットおよび1種類の純Ti製ブラケットの腐食電位の時間変化を示す。ステンレス鋼製ブラケットは、腐食電位の時間変

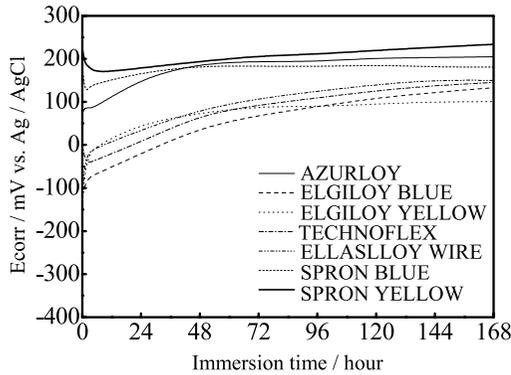


Figure 4 Variations in the corrosion potential (E_{corr}) with time for cobalt-chromium-nickel wires in 0.9% NaCl solution at 37°C.

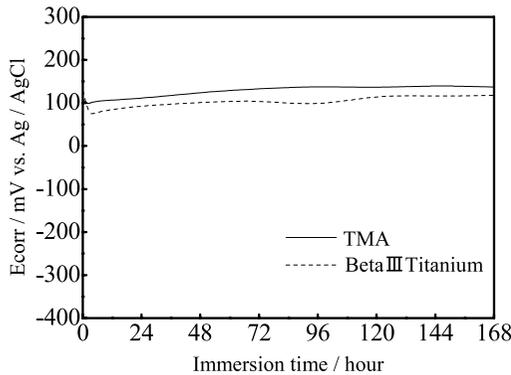


Figure 5 Variations in the corrosion potential (E_{corr}) with time for β -titanium wires in 0.9% NaCl solution at 37°C.

化から3つのタイプに分類することができる。すなわち、(1) 浸漬直後から腐食電位の値が+100mVよりも高いブラケット (one piece bracket, METAL BRACKET, MINIATURE TWIN), (2) 浸漬初期には貴な腐食電位を示すが、浸漬130時間以降に腐食電位が急激に卑に移行するブラケット (micro arch bracket) および (3) 浸漬直後から腐食電位の値が-100 mVよりも低いブラケット (Ultra-minitrim, MINI DIAMOND, APC II Adhesive Coated Appliance) である。純Ti製ブラケットの腐食電位の値は、浸漬初期に急激に貴に移行し、およそ+100mVに達して安定した。

Fig. 7に0.9%NaCl溶液中におけるコイルス

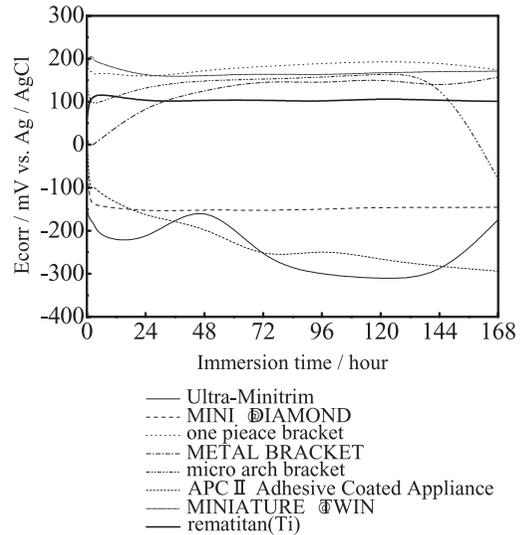


Figure 6 Variations in the corrosion potential (E_{corr}) with time for brackets in 0.9% NaCl solution at 37°C.

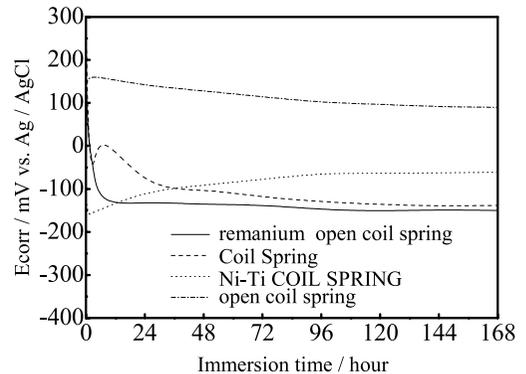


Figure 7 Variations in the corrosion potential (E_{corr}) with time for coil springs in 0.9% NaCl solution at 37°C.

プリングの腐食電位の時間変化を示す。2種類のステンレス鋼製コイルスプリングでは、腐食電位は浸漬初期に比較的大きく変動したが、浸漬48時間後には安定化し、ほぼ一定の値を示した。浸漬168時間における腐食電位の値は、いずれのコイルスプリングにおいても約-150mVであり、両者の間に差は見られなかった。一方、2種類のNi-Ti合金製コイルスプリングの腐食電位には顕著な差が見られ、浸漬168時間後における電位差は、およそ200mVであった。腐食電位の値は、ステンレス鋼製コイルスプリ

ングと比較して、Ni-Ti合金製コイルスプリングの方が貴であった。

考 察

1. 各矯正用金属製装置における腐食電位の時間変化

腐食電位は、金属の腐食状態を反映する一つの重要なパラメータである。腐食電位の値は、金属と腐食環境（溶液）との界面の状態やそこで生じる腐食反応によって決定される¹⁶⁾。したがって、腐食環境に変動がない場合には、腐食電位の経時的変化から、金属の腐食状態の変化を知ることができる。矯正装置に使用されている卑金属合金の腐食電位は、一般的に安定に不動態化するほど貴となり、逆に活性に腐食するほど卑となる。

各種ワイヤーにおいて測定された腐食電位の時間変化を見てみると（Fig. 2～5）、ほとんどのワイヤーの腐食電位は、浸漬初期には多少の変動は見られるものの、時間の経過とともに徐々に貴な方向へと変化した。これは、入手した状態でワイヤー表面に存在していた不動態皮膜が生理食塩水中で熟成し、より緻密で保護性のある構造へと変化したためである。Yonekuraら¹⁷⁾は、ステンレス鋼製ワイヤー、Co-Cr合金製ワイヤー、Ni-Ti合金製ワイヤーならびにβ-Ti合金製ワイヤーから生理食塩水中に溶出する金属イオン量を調べ、いずれのワイヤーにおいても、不動態は時間の経過とともに安定となり、金属イオンの溶出速度は減少することを確認している。

しかしながら、例外的にステンレス鋼製ワイヤーであるRESPONDの腐食電位は、時間の経過とともに上昇することなく、浸漬初期にわずかに卑になった後、約-150mVで一定となった（Fig. 2）。本ワイヤーは、複数の線材を撚って作成されている。したがって、各線材の接触部にすき間が存在し、保護性のある不動態皮膜が

ワイヤーの全面に均一に形成されなかったために、腐食電位の上昇が見られなかったものと考えられる。すなわち、線材の接触部における不動態が安定化しないために、卑な腐食電位を示した可能性が高い。

ステンレス鋼製ブラケットにおける腐食電位の時間変化を見てみると、腐食電位が時間の経過とともに大きく変化するケースが多い（Fig. 6）。これは、ブラケットの中には複数の部材を接合して製作されたものが多く、ワイヤーと比較して複雑な構造を有しているためと考えられる。金ろうでウイング部とベース部をろう着して製作されているMicro arch bracketの腐食電位は、浸漬130時間後から急激に卑に移行した。この電位の急激な変化は、ろう着部における不動態皮膜の破壊とそれに引き続き生じる局部腐食の発生に起因しているものと推測される。局部腐食の発生初期に浸漬試験を終了したため、今回は腐食の痕跡を肉眼で確認することはできなかった。これに対して、1ピースタイプのステンレス鋼製ブラケット（one piece bracket, MINIATURE TWIN）とTi製ブラケット（rematitan）の腐食電位は、変動が極めて少なかった。これらのブラケットにおいて、腐食電位の変動がほとんど見られなかった理由は、いずれも接合部を有することなく単純な構造をしていたためと考えられる。ブラケットの構造と腐食電位の関係については、後で詳細に考察を加える。

コイルスプリングにおいては、腐食電位が時間の経過とともに卑に移行する製品が多く見られた（Fig. 7）。コイルスプリングは、線材をコイル状に加工して作製されているため、加工によるひずみの残留や表面荒れの影響によって均一な不動態皮膜が形成せず、不動態が時間の経過とともに安定化しないケースが多いものと考えられる。

2. 腐食電位に影響する材料側の因子

2-1 各合金製ワイヤーとコイルスプリングの腐食電位

Fig. 8 に各種矯正用金属装置において、浸漬168時間経過時に測定された腐食電位の値を合金の種類別に示す。腐食電位は、合金の種類によって大きな違いが見られる。ワイヤーの腐食電位を合金の種類ごとに比較してみると、ステンレス鋼製ワイヤーの腐食電位が最も貴であり、つづいてCo-Cr-Ni合金製ワイヤー、β-Ti合金製ワイヤー、Ni-Ti合金製ワイヤーの順に腐食電位は卑となる傾向が認められる。

同種の合金系ワイヤー間においても、腐食電位の値に最大で200mV程度の差が見られる。この原因の一つは、合金の成分・組成の違いである。例えば、Ni-Ti合金製ワイヤーでは、Cuが配合されているワイヤーの腐食電位は、二元合金と比較して相対的に貴となっている。Cuの添加によって腐食電位が貴となり、不動態が安定となる現象は、鋳造用Ni-Cr合金においても

報告されている¹⁸⁾。同種の合金系ワイヤー間で腐食電位の値に差が生じるもう一つの原因は、Iijimaら¹⁹⁾が既に明らかにしているように、ワイヤーの製造過程において施される熱処理や酸洗いの条件が違う結果、成分・組成が近似しているワイヤーであったとしても、合金の表面性状や合金上に生成する酸化皮膜の組成ならびに構造が異なるためである。2種類のNi-Ti合金製コイルスプリングにおいても、成分・組成にほとんど違いがないにもかかわらず、腐食電位の値に150mVほどの差が見られる現象も、製造過程における加工方法や熱処理ならびに酸洗い条件の違いに起因しているものと考えられる。

ステンレス鋼製のコイルスプリングと撚り加工された構造を有するワイヤー (RESPOND) は、他のステンレス鋼製ワイヤーと比較して成分・組成に大きな違いはないが、腐食電位は350mVほど卑な値となっている。これらの装置では、複雑な形状や加工時に局部的に残留するひずみによって、均一な不動態皮膜が形成され

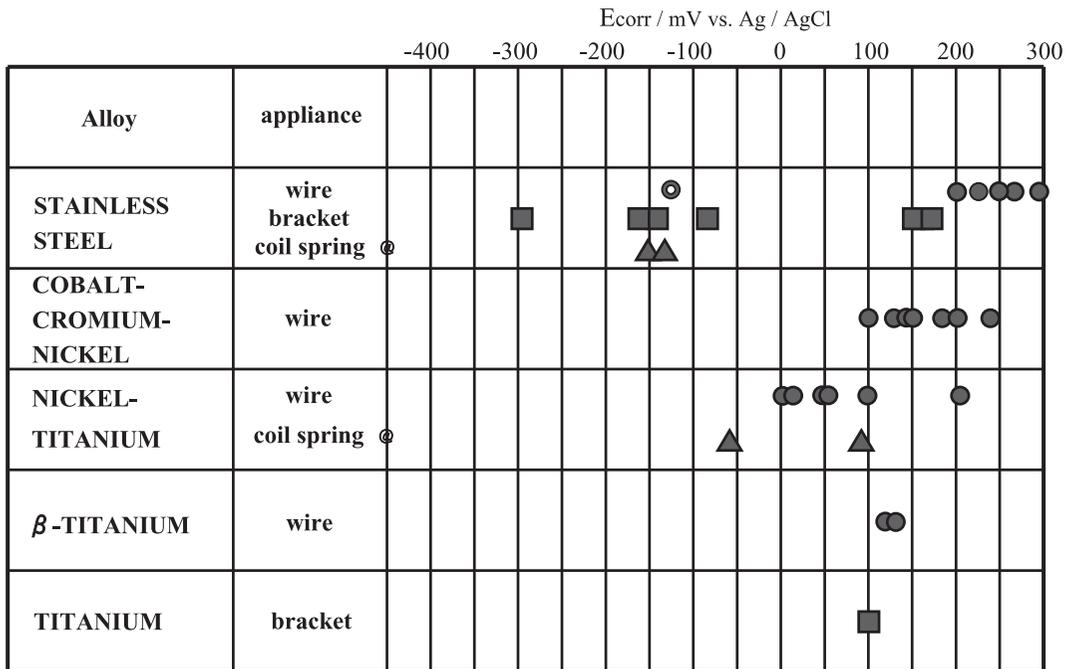


Figure 8 Corrosion potential range for each orthodontic appliance group after 168 hours after immersion in 0.9% NaCl solution at 37°C. ◎ : Twisted stainless steel wire

ず、電位が卑になったものと考えられる。現在までのところ、コイルスプリングから溶出する金属イオンを定量した結果は報告されていないが、単純な構造のワイヤーと比較して、溶出量が多いものと推測される。

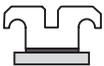
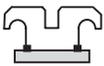
2-2 ステンレス鋼製ブラケットの構造と腐食電位との関係

浸漬168時間経過時に測定されたステンレス鋼製ブラケットの腐食電位の値には、製品間で大きな違いが見られた (Fig. 8)。最大で450 mVほどある腐食電位の差は、ブラケットの製作に使用されているステンレス鋼の成分・組成の違いだけでは説明がつかない。そこで、ステンレス鋼製ブラケットは複数のパーツを接合して作製されていることが多いことから、ブラケットの構造と腐食電位との関係について詳細に検討した。

Table 2 にステンレス鋼製ブラケットの構造と腐食電位との関係を腐食電位の時間変化から三つのタイプに分類して示す。接合部を有しない1ピースタイプのブラケットでは、腐食電位は貴な値を示し、その時間的な変動は比較的小さい (タイプA)。腐食電位の値には、ステンレス鋼製ワイヤーと比較して大きな差は見られなかった。

ウイング部とベース部を金ろうで接合したブラケットの腐食電位は、1ピースタイプのブラケットと同様に貴な値を示した。しかし、2種類うち1種類のブラケットにおいて、腐食電位は浸漬130時間後から急激に卑に移行した。合金ろう自体の耐食性は高いことから、この腐食電位の急激な変化は、ステンレス鋼のろう着熱影響部の粒界にCr炭化物が析出し、粒界近傍のCr欠乏層の不動態皮膜が部分的に破壊する現象に起因するものと考えられる²⁰⁾。したがっ

Table 2 Classification of orthodontic bracket based on structure and corrosion characteristics.

| | Structure of orthodontic bracket | Corrosion potential (168 h) | Remarks |
|--------|--|-----------------------------|--|
| Type A | 1 piece type  | +171 ~ +174 | <ul style="list-style-type: none"> ● Composed of single material. ● Exhibited noble corrosion potential. |
| Type B | 2 piece type  Gold Solder | -80 ~ +157 | <ul style="list-style-type: none"> ● Made by soldering using gold solder. ● Exhibited noble or less noble corrosion potential depending on soldering conditions. |
| Type C | 2 piece type   Silver Solder Weld | -145 ~ -294 | <ul style="list-style-type: none"> ● Made by soldering using silver solder or welding. ● Exhibited less noble corrosion potential. |

て、ろう着時にステンレス鋼が受ける熱履歴によっては、ブラケットの腐食電位がある時間経過後に卑になる可能性がある(タイプB)。

ウイング部とベース部を銀ろうで接合したブラケットならびにウイング部とベース部を溶接して作製されたブラケットの腐食電位は、1ピースタイプのブラケットと比較して300~400 mVほど卑な電位を示した(タイプC)。銀合金ろうは、ステンレス鋼と比較して腐食電位が卑であり、耐食性が低い。したがって、ろう付部におけるろう合金の腐食電位が反映された結果、ブラケットの腐食電位が卑となったものと考えられる。また、溶接してブラケットを作製した場合は、溶接熱影響部の粒界にCr炭化物が析出し、粒界近傍にCr欠乏層ができることによって不動態が局部的に不安定となり、腐食電位が卑になったものと考えられる²⁰⁾。溶接して作製されたステンレス鋼製ブラケットは種類が少ないため、本実験では1種類の製品を入手し、その腐食電位を測定した。今後、溶接条件と溶接部近傍におけるCr欠乏層の生成ならびに不動態の安定性に関して、さらに検討する必要がある。

以上の結果から、ステンレス鋼製ブラケットの腐食電位は、部材として使用するステンレス鋼の成分・組成のみならず、ブラケットの構造や接合方法の影響を大きく受けることが明らかとなった。

3. 異種金属接触腐食の観点からみた矯正用金属製装置の組合せの妥当性

異種金属接触腐食は、異なった金属の腐食電位の差が駆動力となって、腐食反応が加速される現象である。この場合、腐食電位の卑な金属がアノードなり、腐食が加速される結果、金属イオンの溶出量が多くなる。したがって、異なった矯正用金属製装置を接触させて使用する場合には、装置の腐食を最小限に抑えるために、

腐食電位の差が小さい装置の組合せを選択して使用することが望ましい。

Table 3にFig. 8に示す結果に基づいて得られたワイヤーならびにコイルスプリングとブラケットの電位差(E_{corr} (ワイヤー, コイルスプリング) - E_{corr} (ブラケット))の値を合金の種類別にまとめて示す。

1ピースタイプのステンレス鋼製ブラケット(タイプA)は、ステンレス鋼製ワイヤーと比較すると腐食電位が卑である。したがって、両者を組み合わせて使用すると、ブラケットがアノードとなって腐食が加速される。しかし、腐食電位の差は27~121mVと小さいので、その影響は小さいものと推測される。タイプAのブラケットとCo-Cr-Ni合金製ワイヤーを組合せて使用した場合は、ワイヤーの種類によってブラケットがアノードとなり腐食が加速される場合とカソードとなってワイヤーの腐食を加速する場合に分かれる。しかし、いずれの場合においても、ブラケットとワイヤーの腐食電位の差は、最大で100mV程度であり、両装置の接触が腐食を加速する程度はそれほど大きくないものと考えられる。タイプAのブラケットとNi-Ti合金製ワイヤーおよび β -Ti合金製ワイヤーを組合せた場合には、腐食電位が卑であるワイヤーの腐食が加速されるケースがほとんどである。例外的にCuを5.3mass%含有したCopper Ni-Ti superelastic At 27°Cは、腐食電位がブラケットよりも貴であり、ブラケットの腐食が加速される。いずれの場合においても、ステンレス鋼製ワイヤーやCo-Cr-Ni合金製ワイヤーと同様に腐食電位の差は小さいため、異種金属の接触によって腐食が著しく加速されることはないものと考えられる。タイプAのステンレス鋼製ブラケットとコイルスプリング(ステンレス鋼製, Ni-Ti合金製)を接触させて使用した場合には、コイルスプリングの腐食電位が卑なため、その腐食が加速される。この場合は腐食電位の差は比較的

大きく、およそ300mVにも達することもあることから、コイルスプリングの腐食が著しく加速される場合もあり得る。

これに対して、タイプCのステンレス鋼製ブラケットの腐食電位は、ほとんどの種類のワイヤーやコイルスプリングと比較して卑であり、ブラケットがアノードとなって腐食が加速される。ステンレス鋼製ワイヤーやCo-Cr-Ni合金製ワイヤーと組合せて使用した場合には、腐食電位の差も大きくなるため、ブラケットの腐食も著しく加速されるケースもあるものと考えられる。その場合、ブラケットの接合部およびその近傍に腐食が限局することが多いものと予想される。

タイプBのステンレス鋼製ブラケットでは、接合部においてステンレス鋼が受けた熱履歴によって、タイプAのブラケットと同様に貴な腐

食電位を示す場合と、タイプCのブラケットと同様に卑な腐食電位を示す場合に分かれる。したがって、使用する製品によって、異種金属接触腐食の挙動が異なる。

Ti製ブラケットの腐食電位は、タイプAのステンレス鋼製ブラケットよりも100~200mVほど卑である。Ni-Ti合金製ワイヤーや β -Ti合金製ワイヤーと組合せて使用する場合には、腐食電位の差が小さくなるため、ステンレス鋼製ブラケットと組合せて使用するよりも、異種金属接触腐食の影響は小さい。また、Ti合金ブラケットの腐食電位は、ステンレス鋼製ワイヤーやCo-Cr-Ni合金製ワイヤーと比較すると0~200mV卑であることから、両装置を組み合わせ使用した場合、ブラケットがアノードとなって腐食し、ワイヤーはカソードとなって防食される。この場合、Ti製ブラケットの腐食によ

Table 3 Differences in corrosion potential between wires or coil springs and different types of bracket after 168hours immersion in 0.9% NaCl solution at 37°C

| | Type A | Type B | Type C | Ti |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Stainless Steel Wire | +27 ~ +121 | +44 ~ +373 | +346 ~ +587 | +100 ~ +192 |
| Twisted Stainless Steel Wire | -301 ~ -298 | -284 ~ -47 | +18 ~ +167 | -228 |
| Stainless Steel Coil spring | -324 ~ -309 | -307 ~ -58 | -5 ~ +151 | -251 ~ -239 |
| Cobalt-Cromium-Nickel Wire | -73 ~ +60 | +21 ~ +314 | +246 ~ +528 | 0 ~ +133 |
| Nickel-Titanium Wire | -172 ~ +40 | -155 ~ +294 | +147 ~ +508 | -99 ~ +113 |
| Nickel-Titanium Coil spring | -235 ~ -81 | -218 ~ +270 | +84 ~ +384 | +19 ~ +162 |
| β-Titanium Wire | -56 ~ -34 | -20 ~ +217 | +198 ~ +431 | +17 ~ +36 |

*Positive number indicates that the corrosion potential of wires or coil springs is higher (nobler) than that of the bracket.

て、Tiイオンの溶出やTiO₂からなる皮膜の成長が起こる。これらのTiの腐食生成物は、アレルギー性や毒性が低いことが知られている。一方、この時ワイヤーはカソードとなって防食されるため、ワイヤーから溶出するアレルギー性の高いNi、CoおよびCrイオンの溶出量は減少する。これらの現象を考慮すると、異種金属接触腐食や金属アレルギーの観点からは、いずれのワイヤーと組合せる場合においても、ステンレス鋼製ブラケットよりもTi製ブラケットを用いるほうが望ましいと結論できる。

結 論

生理食塩水中における矯正用金属製装置の腐食電位の測定から以下のことが明らかとなった。

1. 矯正用ワイヤーでは、ステンレス鋼製ワイヤーの腐食電位が最も貴であり、つづいてCo-Cr-Ni合金製ワイヤー、β-Ti合金製ワイヤー、Ni-Ti合金製ワイヤーの順に腐食電位は卑となる傾向が認められた。
2. ステンレス鋼製のコイルスプリングと撚り加工された構造を有するワイヤー (RESPOND) は、他のステンレス鋼製ワイヤーと比較して、不動態が不安定であり、腐食電位は350mVほど卑な値を示した。これらの装置は、ブラケットと接触するとアノードとなって腐食する。
3. ステンレス鋼製ブラケットの腐食電位は、その構造や接合部の有無によって大きな影響を受ける。接合部を有する2ピースタイプのブラケットは腐食電位が卑であり、ワイヤーと接触するとアノードとなって腐食する。
4. 異種金属接触腐食の観点からは、ワイヤーを防食しアレルギー性の高い金属イオ

ンの溶出量を減少させるTi製ブラケットを各種ワイヤーと組み合わせて使用することが望ましい。

文 献

1. Brantley WA : Orthodontic Materials : Scientific and Clinical Aspects. Thieme, Stuttgart : 77-103, 2001.
2. Bass JK, Fine HF, and Cisneros GJ : Nickel hypersensitivity in the orthodontic patient. Am J Orthod Dentofacial Orthop. **103** : 280-285, 1993.
3. Kerosuo H, Kullaa A, Kerosuo E, Kanerva L, and Hensten-Pettersen A : Nickel allergy in adolescents in relation to orthodontic treatment and piercing of ears. Am J Orthod Dentofacial Orthop. **109** : 148-154, 1996.
4. Dunlap CL, Vincent SK, and Barker BF : Allergic reaction to orthodontic wire : report of case. J Am Dent Assoc. **118** : 449-500, 1989.
5. Greppi AL, Smith DC, and Woodside DG : Nickel hypersensitivity reactions in orthodontic patients. Uni Tor Dent. **J3** : 11-14, 1989.
6. Schuster G, Reichle R, Bauer RR, and Schopf PM : Allergies induced by orthodontic alloys : incidence and impact on treatment. Results of a survey in private orthodontic offices in the Federal State of Hesse, Germany. Orofac Orthop. **65** : 48-59, 2004.
7. Jia W, Beatty MW, Reinhardt RA, Petro TM, Cohen DM, Maze CR, Strom EA, and Hoffman M : Nickel release from orthodontic arch wires and cellular immune response to various nickel concentrations. J Biomed Mater Res. **48** : 488-495, 1999.
8. Kerosuo H, Moe G, and Kleven E : In vitro release of nickel and chromium from different types of simulated orthodontic appliances. Angle Orthod. **65** : 111-116, 1995.
9. Hildebrand HF, Veeron C, and Martin P : Nickel, chromium, cobalt dental alloys and allergic reactions : an overview. Biomaterials **10** : 545-548, 1989.
10. 遠藤一彦, 大野弘機 : 歯科用金属材料の腐食と金属アレルギー, 日本歯技**426** (No.12) : 33-40, 2004.
11. Eliades T, Athanasiou EA : In Vivo Aging of Orthodontic alloys : Implications for corrosion potential, nickel release, and biocompatibility. Angle Orthod. **72** : 222-237, 2002.

12. Platt JA, Guzman A, Zuccari A, Thornburg DW, Rhodes BF, Oshida Y, and Moore BK : Corrosion behavior of 2205duplex stainless steel. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* **112** : 69–79, 1997.
13. Venugopalan R, Lucas LC : Evaluation of restorative and implant alloys galvanically coupled to titanium. *Dent Mater.* **14** : 165–172, 1998.
14. Karov J, Hinberg I : Galvanic corrosion of selected dental alloys. *J Oral Rehab.* **28** : 212–219, 2001.
15. Lim S, Takada Y, Kim K, and Okuno O : Ions released from dental amalgams in contact with titanium. *Dent Mater J.* **22** : 96–110, 2003.
16. West JM (柴田俊夫訳) : 腐食と酸化, 産業図書株式会社 : 37–59, 103–112, 1983.
17. Yonekura Y, Endo K, Iijima M, Ohno H, and Mizoguchi I : In vitro Corrosion Characteristics of Commercially Available Orthodontic Wires. *Dent Mater J.* **23** : 197–202, 2004.
18. 遠藤一彦, 平野進, 平澤忠 : Ni–Cr合金の耐食性に及ぼす添加Cu元素の影響. *歯科材料・器械* **5** : 301–309, 1986.
19. Iijima M, Endo K, Ohno H, Yonekura Y, and Mizoguchi I : Corrosion behavior and surface structure of orthodontic Ni–Ti alloy wires. *Dent Mater J.* **20** : 103–113, 2001.
20. 伊藤伍郎 : 腐食科学と防食技術, 株式会社コロナ社 : 332–335, 1979.

「東日本歯学雑誌」投稿規程

1. 投稿資格

著者は、原則として共著者を含め、本会会員に限る。ただし、非会員が共著者となる場合には、1年分の会費を徴収する。

2. 生命倫理への配慮

- 1) 臨床研究は、ヘルシンキ宣言の主旨にそったもので、「北海道医療大学倫理委員会」の承認を得たものとする。
- 2) 人の遺伝子解析を含む場合は、本学の「ヒトゲノム・遺伝子解析研究の計画および実施に関する倫理規程」に基づき、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理審査委員会」の審査をへて学長の許可を得たものとする。
- 3) 動物実験は、「北海道医療大学動物実験の指針」に基づき、「動物実験センター管理運営委員会」の承認を得たものとする。
なお、本学以外の研究機関等で行われた研究については、当該研究機関等の倫理委員会等で承認を得たものとする。

3. 論文の種類及び内容

- 1) 論文の種類は、原著論文、症例報告、総説、解説とする。
- 2) 論文の内容は、他の刊行物に未発表のものに限る。

4. 査読および採否

- 1) 投稿論文は、編集委員会および編集委員会の依頼する専門家により査読される。
- 2) 採否については、査読の結果に基づき編集委員会が決定する。

5. 投稿論文の作成

- 1) 投稿論文は、投稿規程ならびに別に定める「投稿の手引き」に準拠して作成すること。
- 2) 投稿論文は、表紙、チェックリストシート、英文抄録(150語以内)、本文、表、図および図表説明文の順番にまとめる。
- 3) 投稿原稿は、2部(正1部、コピー1部)とする。投稿原稿とともにフロッピーディスクを提出すること。なおディスクには、使用したワードプロセッサのソフト名とファイル名を記載する。
- 4) 和文論文の本文については、原則として、緒論(緒言)、方法(材料および方法)、結果、考察、結論(結言)、謝辞(必要な場合のみ)、文献の順に記載するものとする。
- 5) 英文論文の本文については、原則として、ABSTRACT(150語以内)、INTRODUCTION、MATERIALS AND METHODS、RESULTS、DISCUSSION、CONCLUSION、ACKNOWLEDGMENT(必要な場合のみ)、REFERENCESの順に記載するものとする。

6. 証明書等の発行

- 1) 投稿原稿の受付日は、編集委員会に到着した日付とする。
- 2) 受理証明が必要な場合には、掲載が決定した後に受理証明書を発行する。

7. 掲載料および別刷料

- 1) 掲載料は、刷り上がり10頁まで無料とする。これを超過した場合には、編集委員会が依頼したものを除き、1頁1万円の著者負担とする。
- 2) カラー頁については、著者の実費負担とする。
- 3) 別刷料については、50部まで無料とし、これを超過する場合(50部単位)には著者の実費負担とする。

8. 著作権の帰属

本誌に掲載された著作物の著作権は東日本歯学会に帰属する。本会はこれら著作物の全部または一部を、ネットワーク媒体を含む媒体に掲載・出版することが出来る。ただし、論文の内容については、全て著者が責任を負う。

9. 原稿の送付先

住所：〒061-0293北海道石狩郡当別町字金沢1757番地
北海道医療大学歯学部
東日本歯学雑誌編集委員会

会費納入のお願い

正会員、準会員、賛助会員で平成16年度会費の未納の方は、事務整理上至急ご納入下さるようお願いいたします。

払込みは北海道銀行当別支店（普通No.128259）宛、または同封郵便振替用紙をご利用下さい。（会計委員）

原稿募集について

次号（第24巻、第1号）の発行は平成17年6月30日です。

会員各位の投稿原稿募集の締切りは平成17年3月31日必着と致します。期日厳守の上、ご投稿をお願い上げます。本誌投稿規定ご参照の上“提出原稿の書き方”を編集委員会にご請求下さい。（編集委員会）

編集後記

本号は第23巻第2号であります。本来は平成16年12月31日までに発行される予定のものが一ヶ月遅れとなり申し訳ありません。

平成16年は国内では新潟県中越地震、国外ではスマトラ島沖巨大地震と津波により大きな災害に見舞われました。被災された皆様方には一刻も早く心身ともに御回復されますことをお祈り申し上げます。私たちもできる限りの支援の手を差しのべる共に、研究に携わってられる状況に謙虚に感謝し、平常心で地道に研究活動の成果をあげて社会に還元していくべきことと考えております。

また、現在編集部では、現状に即した名称および体裁の変更、投稿規定の変更を検討中であり、2月の総会で審議頂く予定です。できるだけ投稿し易く、且つ読みやすい雑誌にしたいと考えておりますので、学会員皆様方の御協力を宜しくお願い申し上げます。

歯科コンポジットレジン用接着材料

AQボンドプラス

極薄ボンディングがさらに進化

特長 1

極薄ボンディング 3ミクロン

特長 2

1ボトル 1ステップ 1回塗布

特長 3

キセノン系・LED系 光照射器対応

特長 4

ハロゲン系の照射時間は5秒間



歯科コンポジットレジン用接着材料
AQボンドプラス

医療用具承認番号 21500BZZ00138

ボンド……………5.5mL
キャタスポンジ……………175粒
キャタブラシ……………10本
V型タッペン……………5個

■標準価格は2003年4月1日現在のものです。消費税は含まれておりません。

製造  サンメディカル株式会社

発売  株式会社 ニッシン

本社 / 〒524-0044 滋賀県守山市古高町 571-2 TEL.077-582-9980
東京オフィス / 〒113-0034 東京都文京区湯島 9-13-8 TEL.03-3836-9069
サンメディカル Home Page URL <http://www.sunmedical.co.jp>

本社 / 〒601-8469 京都市南区唐橋平野町 8 TEL.075-681-5719
東京営業所 / 〒110-0005 東京都台東区上野 3-13-8 TEL.03-3836-3691
ニッシン Home Page URL <http://www.nissin-dental.co.jp>

新発売



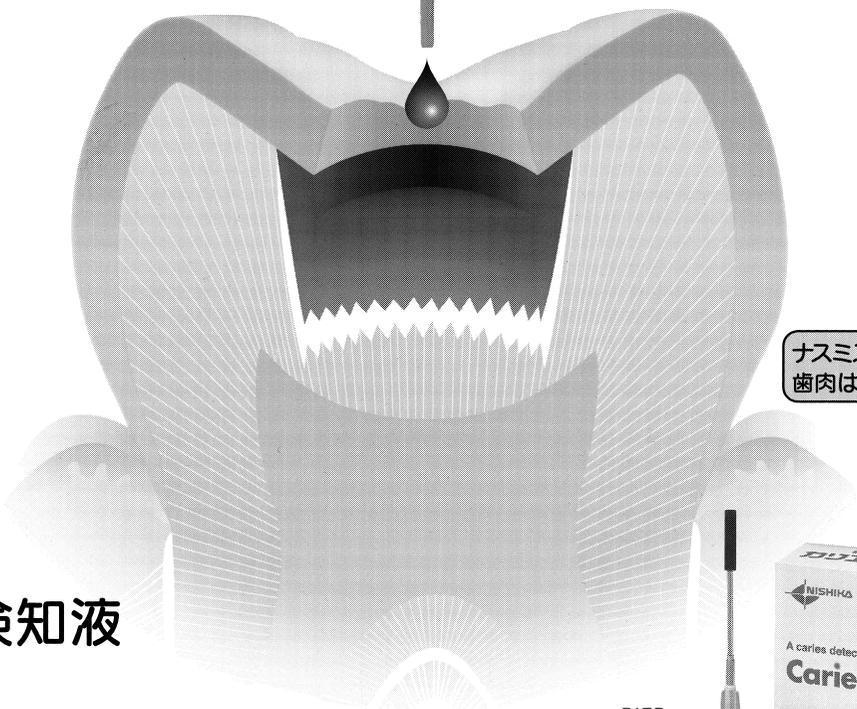
染まりすぎない 齲蝕検知液

Minimal Intervention

取り残しを防げます!

削りすぎを防げます!

赤～淡いピンク染部すべてを削除すれば
過不足なく齲蝕象牙質感染層を取り除けます。



ナスミス膜・ブランク・
歯肉は染まりません。

齲蝕検知液

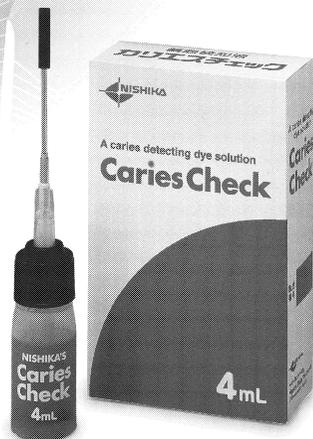
ニシカ

カリエスチェック

PAT.P

| | |
|-------------|-------------------------------------|
| ニシカカリエスチェック | |
| 包装 | 4mL《付属品》ノズル:1, 穴開きキャップ:1, ノズルキャップ:2 |
| 価格 | 1,750円 |

| | |
|--------------------|------------------------|
| (別売)ニシカカリエスチェックノズル | |
| 包装 | ノズル:5, 中栓:5, ノズルキャップ:5 |
| 価格 | 2,500円 |



日本歯科薬品株式会社

本社 下関市西入江町2-5 〒750-0015 TEL0832-22-2221(代) FAX0832-22-2220
大阪営業所 大阪市中央区瓦町4-8-4 〒541-0048 TEL06-6222-4090(代) FAX 06-6222-3950
東京営業所 東京都千代田区外神田6-16-9 〒101-0021 TEL03-3832-4791(代) FAX 03-3832-4792
お問い合わせ・資料請求は ▶ お客様窓口 ☎0120-8020-96 [ホームページ] <http://www.nishika.co.jp/>

PROVINCE



PROVINCE

SELF-CURING ACRYLIC RESIN

特長

優れた操作性

- 抜群の付形性
- 適切な操作時間

優れた審美性

- 色ムラ・気泡が少ない
- 混和法、筆積法での色調差が少ない

キレイな研磨面

耐久性の追求

PROVINCE
SELF-CURING ACRYLIC RESIN

実感していただきたい“操作性”“審美性”
常温重合レジンの進化はプロビナイスからはじまる。



医療用具承認番号 214008ZZ00451

歯科用常温重合レジン プロビナイス

【包装】

- 粉 50g (粉量計付)
250g (粉量計付)
- 液 50mL (スポイト付)
250mL (スポイト付)

《色調》

- A2, A3, A3.5, Inc, 56 (歯冠色)
- U2, U3, 8S (歯肉色)

記載の価格は2003年5月現在の標準医院価格(消費税抜き)です。



世界の歯科医療に貢献する

株式会社 松風

●本社:〒605-0983京都市東山区福福上高松町11・TEL(075)561-1112(代)

●支社:東京(03)3832-4366 ●営業所:札幌(011)232-1114/仙台(022)299-2332/名古屋(052)709-7688/大阪(06)6252-8141/福岡(092)472-7595

<http://www.shofu.co.jp>

MI (最小限度の侵襲) = ポリマー樹脂製ラウンドバー

スマートバー

う蝕象牙質を削り

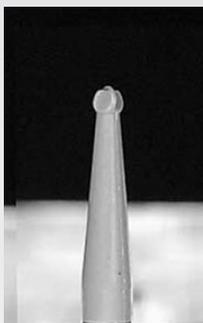
健全象牙質を保存

ヌープ硬度
(HK)

0-30

50

70-90



医療用具許可番号28BY0007

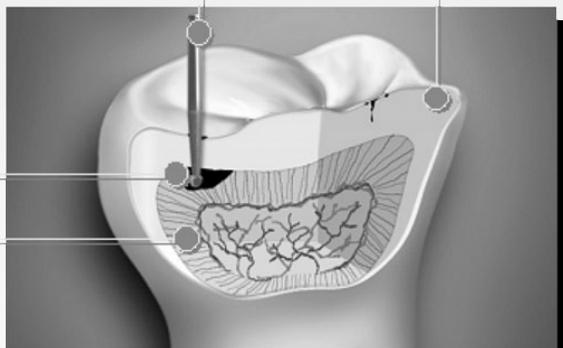
約80%は麻酔なしで う蝕象牙質を選択切削 健全歯質を保存!!

スマートバー
ポリマー樹脂
50HK

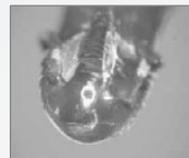
エナメル質
360-430HK

感染象牙質のみ切削
0-30HK

健全象牙質は保存
70-90HK



使用前のバー

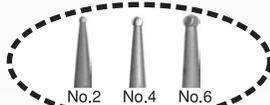


健全象牙質・
エナメルに触れて
磨耗したバー

露髄の減少

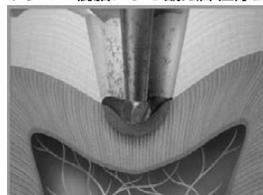
象牙細管の露出が最小、髄室内の神経末端への侵襲が少なく、患者さんに快適診療。

スマートバーシステム スターターキット 新発売増量セール



単品 #2, 4, 6 各10本包装

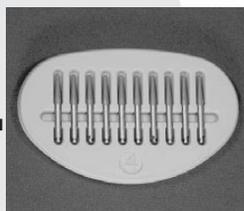
ポリマー樹脂による齶蝕部位除去



*低速コントラにて
500~800rpmで使用します



スターターキット



補充用#4キット(増量)

…歯髄が薄く透けてしまうほどう蝕は深かったが、歯質を最大限に保存することで露髄させることなく、感染象牙質を除去することができた。…

高梨裕之, 中島正俊, 田上順次: スマートブレップ・システム, Dental Diamond, No. 401: 140-142, 2003.

…このシステムが新しいう蝕治療の方向性に向けた治療ツールであることは確かであり、今後の検討の結果次第では、より簡便で歯質保存的なう蝕治療の手助けとなるのではないかと、大いに期待したい。…

山田三良, 千田彰: う蝕象牙質を選択切削する「スマートブレップ・システム」, 日本歯科評論, 第732号: 113-116, 2003.

ONE & ONLY

GC

1ボトル、1ステップ、しかも1回塗布。

光重合型1液性ボンディング材

ジーシー G-ボンド

今までになかったシンプル&スピーディで、
確実に接着する1液性ボンディング材「G-ボンド」。

「G-ボンド」は、エッチング・プライミング・ボンディングに必要な成分を1液に凝縮したボンディング材です。今までなかった本当のワンステップタイプで、1回塗布するだけの簡単操作を実現しています。

包装・希望医院価格

1液:G-ボンド(5mL)1本、マイクロチップアプリケーター(レッド)50本、
チップホルダー1本、採取皿1個=¥15,000
医療用具承認番号:21600BZZ00028000号



※掲載の価格は希望医院価格です(消費税は含まれておりません)。

株式会社 ジーシー

DIC(デンタルインフォメーションセンター) / フリーダイヤル ☎0120-416480

受付時間 9:00a.m.~5:00p.m. (土曜日、日曜日、祭日を除く)
※アフターサービスについては、最寄りの営業所へお願いします。

GC homepage URL
<http://www.gcdental.co.jp/>



真剣勝負

sandosanyo

山藤三陽印刷株式会社

〒063-0051 札幌市西区宮の沢1条4丁目16-1 [営業部] 代表電話(011)661-7163 FAX.(011)661-7173

東京支店/電話(03)3518-4631 FAX.(03)3518-4633 苫小牧営業所/電話(0144)34-8078 FAX.(0144)31-2423 千歳営業所/電話(0123)26-3555

Spacy Articulator (Semi-Adjustable) Wing

スベイシー咬合器(半調節)ウイング

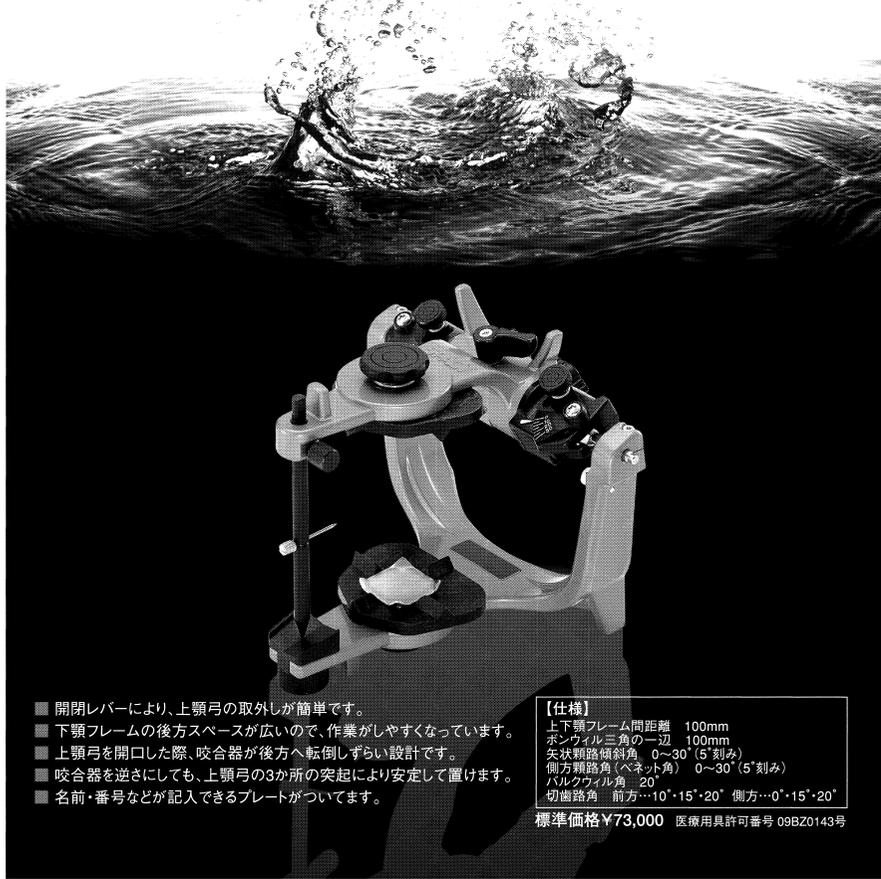


With the utmost care, and the most advanced manufacturing technology, our innovative products are designed and produced!

よりよい品質と
新たな信頼を求めて



株式会社 YDM
15030015
JQA-V090205 <http://www.ydm.co.jp/>



- 開閉レバーにより、上顎弓の取外しが簡単です。
- 下顎フレームの後方スペースが広いので、作業がしやすくなっています。
- 上顎弓を開口した際、咬合器が後方へ転倒しづらい設計です。
- 咬合器を逆さにしても、上顎弓の3か所の突起により安定して置けます。
- 名前・番号などが記入できるプレートがついています。

【仕様】

上下顎フレーム間距離 100mm
 ボンヴェイル三角の一边 100mm
 矢状顎傾斜角 0°~30° (5°刻み)
 側方顎路角(ベネット角) 0°~30° (5°刻み)
 ハルクウィル角 20°
 切歯路角 前方…10°・15°・20° 側方…0°・15°・20°
 標準価格 ¥73,000 医療用具許可番号 09BZ0143号

毛先の届きにくい歯間部や
歯周ポケットのプラークを
効果的に除去。

米国特許技術 ソニックテクノロジーによる
『ダイナミックフルイドアクション』が
歯垢を効果的に除去。

超高速振動

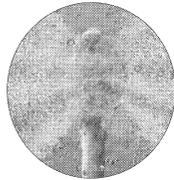
+

左右の
幅広い振れ幅

毎分約31,000回の超高速振動と左右約5mmの幅広い振れ幅がパワフルな液体流動力を引き起こし、毛先の届かない歯間と歯周ポケットの歯垢までより効果的に除去します。*

ソニックアーの特許技術とは・・・

- 毎分31,000回 (261Hz) の超高速振動。
- 左右約5mmの幅広い振れ幅。



この最適なコンビネーションにより特許を取得。だから、ソニックアーだけが『ダイナミックフルイドアクション』を発生させることができ、歯垢除去効果が高いのです。



音波歯ブラシ ソニックアーエリート

sonicare®

◎ソニックアーエリート7800プロフェッショナル ●セット内容:ハンドル1本、ブラシ1本、充電器1台、トラベルケース、ブラシスタンド ●患者参考価格:17,640円(税込) ◎別売品:替えブラシ ●患者参考価格:3,150円(税込)

●発売元: 株式会社 3M 〒110-8507 東京都台東区上野7-6-9 TEL.03-3845-2931 (器材営業本部)

※) Clark M. Stanford, J Clin Dent 1997: Special Issue Vol. VIII.



レーザー治療なら、
痛みの少ない治療ができるって
聞いたんですけど？

コンパクトなボディにぎっしり詰まった高機能
Er:YAGレーザー装置

アーウィン アドベール

11種類の多彩な「コンタクトチップ」と共に

デビュー!!

● 主な使用目的と効能・効果 ●

硬組織疾患 効能・効果/蒸散

- う蝕除去
- くさび状欠損の表層除去

歯周疾患 効能・効果/蒸散・切開

- 歯周ポケットへの照射
- 歯肉整形
- 歯石除去
- フラップ手術
- ポケット探査

軟組織疾患 効能・効果/切開・止血・凝固・蒸散

- 小帯切除
- 口内炎の凝固層形成
- 歯肉切開・切除
- 色素沈着除去



11種類の多彩な
アーウィン アドベール
コンタクトチップ
(レザチップ)

Erwin
AdvErl
Er:YAGレーザー装置 アーウィン・アドベール

品質マネジメントシステム 環境マネジメントシステム



ISO9001 認証
JQA-0933

ISO14001 認証
JQA-EM0543

●医療用具承認番号 21500BZZ00720 ●医療用具承認番号21500BZZ00721
※標準価格は2004年1月5日現在のものです。標準価格には消費税等は含まれておりません。
※仕様及び外観は製品改良のため予告なく変更することがありますのでご了承ください。

開発・製造 株式会社モリタ製作所

株式会社モリタ

東京本社 東京都台東区上野2-11-15 〒110-8513 TEL:03-3834-6161
大阪本社 大阪府吹田市重水町3-33-18 〒564-8650 TEL:06-6380-2525

株式会社モリタ製作所

本社工場 京都市伏見区東浜南町680 〒612-8533 TEL:075-611-2141
久御山工場 京都府久世郡久御山町大字市田小学新津城190 〒613-0022 TEL:0774-43-7594

株式会社モリタ東京製作所

本社工場 埼玉県さいたま市中央区上落合2-1-24 〒338-8538 TEL:048-852-1315
伊奈工場 埼玉県北足立郡伊奈町小室7129 〒362-0806

編集委員会

委員長 和泉博之

越智守生・斎藤隆史・柴田考典・田隈泰信
東城庸介・溝口 到

(アイウエオ順)

東日本歯学雑誌 第23巻 第2号

平成16年12月31日

発行者 新 家 昇

編 集 東 日 本 歯 学 会

〒061-0293 北海道石狩郡当別町字金沢1757番地
北海道医療大学内
電 話 0133-23-1211(代)

印刷 山藤三陽印刷株式会社
札幌市西区宮の沢1条4丁目16番1号
電話 011(661)7163(代)

Vol.23 No.2 DECEMBER 2004

HIGASHI NIPPON

DENTAL JOURNAL

HIGASHI NIPPON
DENT.J.

Vol. 23, No. 2, pp. 153-238
DECEMBER 2004

Higashi Nippon Dental Society