

電解中性水の根管洗浄への応用

北 訓 明¹ ・ 永 松 有 紀¹ ・ 陳 克 恭²
田 島 清 司¹ ・ 柿 川 宏¹ ・ 小 園 凱 夫¹

¹九州歯科大学口腔機能科学専攻口腔機能再建学講座生体材料学分野

²九州歯科大学口腔機能科学専攻口腔治療学講座齲蝕歯髓疾患制御学分野

平成 21 年 1 月 16 日受付

平成 21 年 3 月 4 日受理

Application of Electrolyzed Neutral Water to Root Canal Irrigator

Noriaki Kita¹, Yuki Nagamatsu¹, Ker-Kon Chen²,
Kiyoshi Tajima¹, Hiroshi Kakigawa¹ and Yoshio Kozono¹

¹Division of Biomaterials, Department of Oral Functional Reconstruction,

²Division of Pulp Biology, Operative Dentistry and Endodontics,

Department of Cariology and Periodontology,

Science of Oral Functions,

Kyushu Dental College, Kitakyushu, Japan

E-mail: kita-d-o@lion.odn.ne.jp

yuki-naga@kyu-dent.ac.jp

Abstract

The chemical irrigation of root canal has been usually performed by combined treatment with 3-10 % sodium hypochlorite and 3 % hydrogen peroxide (Oxydol) as the most useful procedure. It is, however, contraindicative for an acute apical inflammation and may give unexpected effects on soft tissues and clothes if it inadvertently comes into contact with them. The present study was scheduled to find out the utility of electrolyzed neutral water for sterilization of root canal as an alternative to chemical agents. It has been previously reported that neutral water shows excellent bactericidal effects with few side effects on vital tissues and environments.

The prepared canal walls of extracted single-rooted teeth were contaminated with *Staphylococcus aureus* 209P or *Streptococcus mutans*. The canals were then washed for one minute with neutral water or agents alternately using 10 % sodium hypochlorite and Oxydol. The sterilization effects of them on the canal walls were evaluated in terms of the number of surviving bacteria. Both types of bacteria in the canal were thoroughly removed by the agents after one-minute washing using a syringe. When the canal was washed by syringe with the neutral water, some numbers of surviving bacteria remained in one sample out of three. As the water showed sufficient sterilization effect for exterminating the bacteria

within a short time when they were mixed in a glass tube, the reduction of the effect in the canal might be due to the exhausted effective residual chloride of the water by its reaction with organic materials in the canal. The remaining number, however, statistically exhibited no significant difference from that of the agents. Ultrasonic washing with the neutral water could further reduce the number of surviving bacteria, and no *Staphylococcus aureus* 209P were found in the canal after washing although only a small number of *Streptococcus mutans* could still survive. The neutral water gel developed by the authors showed better sterilization effects because it contained higher concentration of residual chloride and could stay *in situ* in the canal for longer time. When the gel was filled in the canal after washing with the neutral water, the sterilization effects reached completely 100 % for the contaminated canal. It is expected that gel filled in the canal after washing until the next washing treatment may be able to inhibit the growth of existing bacteria as well as the invasion of new bacteria.

When the dentin specimen was dynamically immersed in the tested media, it tended to whiten and decrease in volume in sodium hypochlorite while no change was found in the neutral water and gel.

The foregoing results suggest that the combined use of neutral water and gel may be well applicable for sterilization of canal alternative to the chemical agents from the standpoints of effective sterilization ability and subsequent maintenance, biological safety and easy manipulation without concerning any side effects.

Key words: Electrolyzed neutral water/Electrolyzed neutral water gel/
Irrigation of root canal/Sterilization effect/Dentin

抄 録

根管洗浄には3～10%次亜塩素酸ナトリウム溶液と3%過酸化水素水(オキシドール)の併用が一般的である。しかし、急性歯根膜炎には使用が適切ではなく、誤滴下による軟組織や衣類への影響が危惧される。本研究においては、薬品に代わる方法として、電解中性水による有効な根管洗浄処理条件の具体化を目的とした。中性水が生体や環境にほとんど影響を示さず、優れた殺菌効果を有することはすでに報告している。

Staphylococcus aureus 209Pあるいは*Streptococcus mutans*を感染させた単根管の感染根管菌を作製した。中性水あるいは薬液(10% NaClOおよびオキシドール)による1分間洗浄後、根管に残存する生菌数を調べた。1分間の薬液によるシリンジ洗浄でいずれの菌も完全に除菌できた。中性水によるシリンジ洗浄では、3個のサンプルのうち1個で生菌の残存がわずかにあった。試験管内では、中性水との混合ですべての菌が短時間で除菌できたが、根管内は有機物との接触による有効成分である残留塩素の濃度低下が殺菌効果を弱めた。しかし、残存生菌数は、統計学的には薬液洗浄と有意差はなかった。中性水による超音波洗浄では消毒効果がさらに高く、*Streptococcus mutans*はわずかな菌の残存があったが*Staphylococcus aureus* 209Pについては生菌が検出されなかった。著者らが開発した中性水ジェルは、塩素濃度が高く根管内に停留しやすいためより高い消毒効果を示した。中性水での根管洗浄後のジェル貼付は感染根管に対して100%の消毒効果を示した。根管洗浄後、次回の処置まで根管内に封入したジェルの殺菌作用により菌の増殖や新たな菌の侵入を防ぐ効果が期待される。

薬液(NaClO)中で動的浸漬を行うと、象牙質表面は浸漬初期から光沢の損失、白色化および体積減少がみられたが、中性水およびジェル中では変化はなかった。

以上の結果から、中性水および中性水ジェルの併用は副作用がなく、消毒効果と予後の維持、生物学的安全性、操作性など種々の観点から、薬液に代わる根管処理液として有用であることが示唆された。

キーワード：電解中性水/電解中性水ジェル/根管洗浄/消毒効果/象牙質

緒 言

根管治療は根管拡大、根管洗浄、根管充填の重要な3つの要素から成り立っている。根管洗浄の最終目的は根管内の無菌化である。理想的に治療を行なうとするならば、根管を完全に無菌化し、術後漏洩が起こらないよう緊密に根管充填しなければならない。現在、根管洗浄液としては一般的に次亜塩素酸ナトリウム (NaClO) 溶液が使用されている。優れた消毒・殺菌力に加えて有機質溶解作用を有し、さらに過酸化水素 (H_2O_2) 水と併用することで、発泡作用による清掃効果が得られることから、これらの消毒薬による交互洗浄法が従来から広く支持され続けている。一方、NaClOの組織傷害性¹⁾、とくに口腔粘膜への漏洩や根尖孔外への漏出による歯根膜への影響、さらには顔面や衣類への誤滴下など危惧すべき欠点を有する²⁾ことから、これに代わるより安全な根管洗浄液の導入が望まれる。

著者らは、歯科臨床において薬液やオートクレーブ、紫外線に代わる消毒、殺菌法として電解水に注目し、これまでに種々の応用を試みてきた³⁻⁶⁾。その結果、印象⁴⁾およびレジン床⁵⁾、スチールバー⁶⁾、カーバイドバー⁶⁾、ダイヤモンドポイント⁶⁾に対して電解水中での1分間の超音波洗浄で十分な消毒効果が得られることがわかった。電解水には、強電解酸性水(以後強酸性水と略す)、弱電解酸性水(以後弱酸性水と略す)および電解中性水(以後中性水と略す)がある。いずれも同等に強力な殺菌作用を示す⁷⁾が、生体に対しての有害作用がほとんどなく⁸⁻¹⁰⁾時間経過とともに元の水に戻るため排水路に廃棄しても環境を汚染する心配もない。欠点として、強酸性水は著しい金属腐食^{11,12)}および歯の脱灰¹³⁾を引き起こし、また保存安定性に劣っている⁷⁾。弱酸性水ではこれらの欠点が幾分改善されている^{7,11,13)}。これらに対して中性水は歯を脱灰することもなく、金属腐食も水道水と同程度で少なく、保存安定性に優れるという特長を持っている^{7,11,13)}。さらに、強酸性水や弱酸性水に特有の塩素臭、酸臭が少なく、無味であることから、歯科臨床での応用に適していると思われる。口腔内への応用としてボスミン[®]と同等の止血作用を有すること¹⁴⁾から、抜歯窩の洗

浄や観血的処置の際の止血・消毒に有効であり、また義歯の洗浄および含嗽によって口臭が抑制されるという効果も認められている¹⁵⁾。

これらの多くの利点をもつ中性水は、現在使用されている薬液に代わる安全な根管洗浄に利用できると考えられる。そこで、本研究においては中性水を用いた根管の消毒・殺菌作用を調べ、有効な根管洗浄処理条件を具体化することとした。さらに、著者らが開発した中性水ジェル¹⁶⁾の応用についても検討を加えた。

材料および方法

I. 使用した試験水および薬液と諸物性

中性水は専用生成器 (AP アクア 21, アサヒプリテック, 以後 NW) により 5% NaCl 水溶液を添加した水道水を無隔膜で、引き続き有隔膜で電気分解後に陽極から得られる電解水である。NW は高い消毒効果を有するとともに安全性も高いが、比較のために、さらに安全性を考慮に入れ pH をややアルカリ側に大きくして食品添加物として厚生労働省の認可を得ている中性水 (AP アクア KS, アサヒプリテック, 以後 NW_{KS}) も用いた。実験に使用した、滅菌蒸留水 (以後 DW), ならびに一般に用いられている根管洗浄用薬液 (NaClO 溶液: 以後 NC, および H_2O_2 水: 以後 OX) とともにそれらの物性値を表 1 に示す。

II. 中性水の消毒効果試験

根管洗浄に先立ち、根管に注入する合計 0.1 ml (20 μ l \times 5 回) の菌液に対して殺菌効果を示す中性水の量を *in vitro* で調べた。供試菌として、殺菌効果試験に一般的に用いられる *Staphylococcus aureus* 209P (NBRC 12732, 以後 *S.aureus*) と口腔内常在菌である *Streptococcus mutans* (NBRC 13955, 以後 *S.mutans*) の通性嫌気性グラム陽性球菌 2 種類を用いた。これらの菌を Brain Heart Infusion (日水製薬, 以後 BHI) 中で 37°C, 24 時間, それぞれ, 好気培養, 嫌気培養して, 遠心分離 (3000 rpm, 20 分) により集菌後, 滅菌生理食塩水に分散させて 2.0×10^8 個/ml の濃度に調製した。これらの各菌液 0.1 ml に中性水を 0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 および 10.0 ml 混合して 3 分間作用後に, 適宜, 滅菌生理食

表1 使用した試験水および薬液とその諸物性

試験水 / 薬液	製造元	コード	pH	ORP(mV)	残留塩素
試験水					
中性水	—	NW	6.9±0.04	854± 5	38±0.4 ppm
	—	NW _{KS}	7.7±0.50	730± 5	30±0.6 ppm
蒸留水	—	DW	6.6±0.40	456±20	—
薬液					
根管洗浄剤 ネオクリーナー「セキネ [®] 」 (NaClO: 10 g/100 ml)	ネオ製薬工業	NC	13.0±0.50	—	10 %
外用殺菌消毒剤 日本薬局方 オキシドール [®] (H ₂ O ₂ : 30 mg/ 1 ml)	健栄製薬	OX	4.7±0.05	—	—

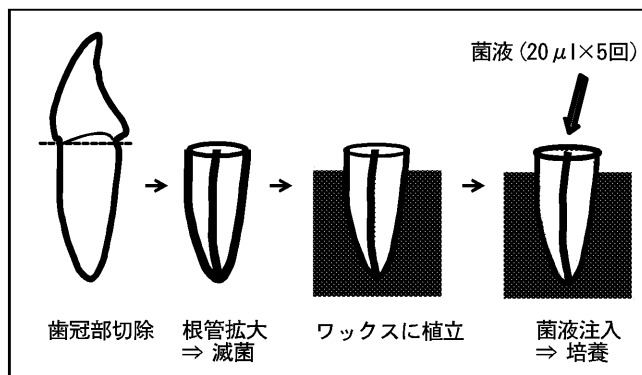


図1 実験的感染根管歯の作製。

塩水により希釈後 0.1 あるいは 1.0 ml をサンプリングして *S.aureus* は普通寒天培地, *S.mutans* は BHI 寒天培地と混釈後, 37 °C, 24 ~ 48 時間, それぞれ好気あるいは嫌気培養した。培養後, 培地上のコロニー数およびサンプリング時の希釈率から, 処理後に残存する生菌数を算出した。

Ⅲ. 実験的感染根管歯の作製

試験片作製の流れを図1に示す。本実験には, 臨床上の理由で抜去された歯髄感染のないヒト永久歯(単根で単根管歯)を用いた。歯冠部の切除, 次いでリーマ(メルファーリーマ, メルファー)による #40 までの根管拡大後, 高圧滅菌した歯根をワックス上に植立して, シリンジ(テルモシリンジ, テルモ)による菌液注入を5回に分けて1時間で行い試験片とした。根管から溢れて試

験片周囲に付着した菌液は滅菌濾紙で吸収し排除した。

1本の歯から1試験片を作製することとし, 以下に示す感染根管歯を用いた実験(ⅣおよびⅦ)における各条件3個ずつ, 合計51試験片を作製した。

Ⅳ. 根管洗浄試験

根管洗浄の条件を表2に示した。シリンジ洗浄は, シリンジ先端に歯科用洗浄剤注入用針(クリーンウォッシングニードル, デンツプライ三金)を装着して行った。超音波洗浄には多目的超音波洗浄器(P-MAX注水システム, サテレック)を用いて, ボトルに入れた試験水を根管内に注入しながら行った。なお, 消毒効果試験の実験結果および有機物による作用低下も考慮して, 中性水による処理量を菌液の150倍になるようにした。感染根管歯に対する洗浄後, 滅菌K-ファイル #45(メル

表2 根管洗浄の処理条件

コード	洗浄液	使用量(ml)	洗浄時間(分)	洗浄方法
NW	NW	15	1	シリンジ洗浄
NW*		15	1	超音波洗浄
DW	DW	15	1	シリンジ洗浄
DW*		15	1	超音波洗浄
NC-OX	NC ⇄ OX	15	1	交互シリンジ洗浄

表3 中性水ジェルの調製とその物性

		物 性	
		残留塩素濃度(ppm)	寒天濃度(%)
使用材料	高濃度中性水	140±10	—
	寒天ゾル	—	0.70
調製後のジェル(NWJ)		71±3.2	0.35

ファー K ファイル, メルファー) を根尖まで挿入しファイリングして試料を採取した後, 滅菌生理食塩水中で超音波洗浄により回収し, この 0.1 あるいは 1 ml を II と同様に培養し, 処理後に残存する生菌数を算出した。

V. 中性水ジェルの調製

著者らが開発した中性水ジェル生成の手順¹⁶⁾に従って, 中性水生成器の製造メーカーによる調整を行って得られた残留塩素濃度の高い (140 ppm) 中性水を, 食品用寒天粉末 (朝日) から調製した寒天ゾルと等量混合して中性水ジェル (以後 NWJ) を調製した。使用材料およびジェル化後の物性を表 3 に示す。

VI. 中性水ジェルの消毒効果試験

S.aureus, *S.mutans* それぞれ 0.1 ml の菌液に対して中性水ジェルを混合し, 中性水の消毒効果試験と同様にして処理後の残存生菌数を調べた。また比較のため中性水ジェルと同じ残留塩素濃度の中性水 (残留塩素濃度 70 ppm, 以後 NW₇₀) を用いた実験も同一条件で行った。

VII. 根管洗浄後の中性水ジェルの貼付の消毒効果試験

中性水での根管洗浄処理による全サンプルの無菌化が得られない根管に対して, 有効成分濃度が高く, 処理面に停留しやすいジェルの貼付を併用した。根管洗浄後の根管に合計 10 ml のジェルを徐々にシリンジにて注入し, 根管から溢れ出たジェルは, 滅菌濾紙でふき取った。

注入から 5 分間放置した後に IV と同様の方法で根管内に残存する生菌数を求めた。

VIII. 洗浄液の象牙質への影響

ポリエステル樹脂で包埋し, 耐水研磨紙 (#500, 100 および 1500) での研磨, 次いで, 研磨用アルミナ懸濁液 (粒径 1.0 および 0.06 μm) によるバフ研磨を行った試験歯を各洗浄液およびジェルに入れ, 小型バイオシェイカー (BR-15, タイテック) 中, 37 °C で旋回 (120 rpm) しながら 7 日間の動的浸漬を行った。浸漬後, 水洗して乾燥した象牙質の形態変化の有無について, フォームコーダ (EF-12H, 小坂研究所) により試験片中央部付近から樹脂面-象牙質面-樹脂面の約 6.5 ~ 8.5 mm の部位を 3 か所計測した。なお, 微細な形態変化は走査型電子顕微鏡 (S-3000N, 日立) により観察した。

諸物性の測定ならびに試験は, 室温 23±2 °C, 相対湿度 60 % 中で, いずれの条件も 3 回ずつとした。得られたデータは分散分析および多重比較検定 (Bonferroni/Dunn) を行い, 有意水準 0.05 で有意差の検定を行った。

なお, 本研究は九州歯科大学倫理委員会の承認 (No.80) を得て行なった。

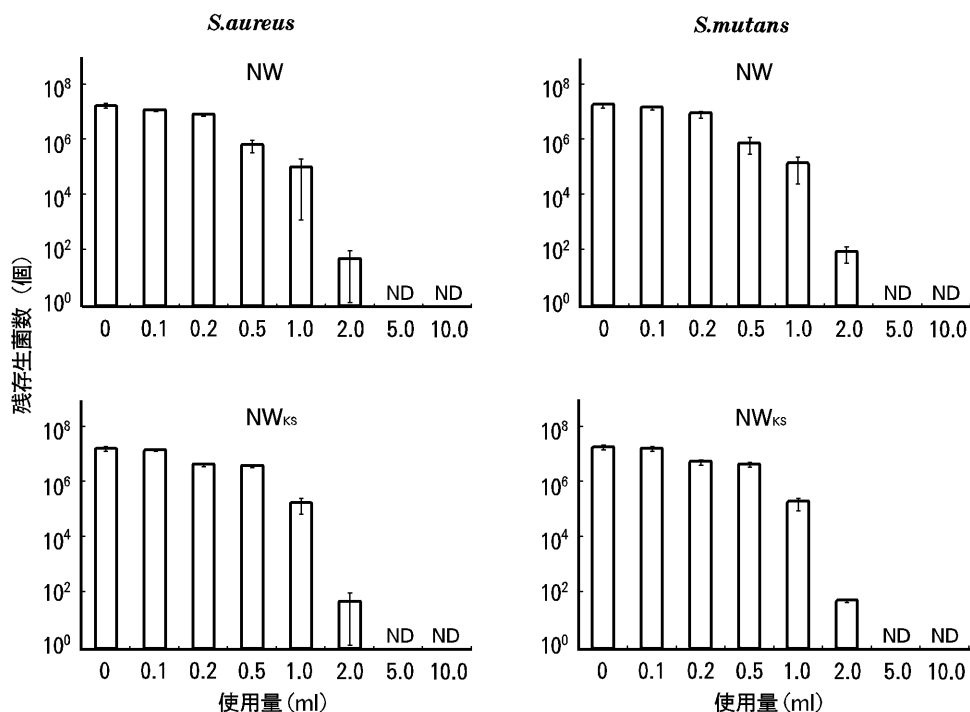


図2 使用中中性水量による残存生菌数の変化。
ND: 検出生菌なし

結果

I. 中性水の使用量と消毒効果

各菌液 0.1 ml に対して、作用させる中性水量を変化させた場合の残存する生菌数の変化を図2に示す。NW, NW_{KS}ともにいずれの菌液に対しても、使用する中性水量の増加に伴い、残存する菌が減少し ($p < 0.01$)、菌種による有意差はみられなかった ($p > 0.05$)。2.0 ml, すなわち、菌液の20倍量を作用させた場合、*S. aureus*は3個のサンプル中1個で残存菌は検出されず、平均残存菌数は100個以下であった。*S. mutans*は20倍量では全サンプルで残存菌が認められ、その数は*S. aureus*と同じく100個以下であった。5.0 ml (菌液の50倍)以上のNW, NW_{KS}を使用した場合には、いずれの菌も全サンプルにおいて検出されなかった。

II. 根管洗浄方法と消毒効果

消毒効果試験の結果から0.1 mlの菌液に対して5.0 mlのNWで消毒効果が十分であることが示されたが、感染根管の洗浄には有機質との接触による殺菌作用の低下

も考慮し、使用するNW量は15 mlとした。DWおよびNC-OXも同様に15 mlとした(表2)。各試験水ならびに薬液を用いた根管洗浄後に残存する生菌数を図3に示す。蒸留水によるシリンジ洗浄(DW)においても*S. aureus*は83.4%, *S. mutans*は89.3%の除菌率となった。超音波を付加したDW*により、検出された菌数の平均値は減少したが、いずれの菌もシリンジ洗浄との間に有意差はなく、 $10^3 \sim 10^4$ 個の菌が残存していた。一方、中性水は*S. aureus*に対して高い消毒効果を示し、シリンジ洗浄(NW)後では3個中2個のサンプル、さらに超音波洗浄(NW*)ではすべてのサンプルから残存菌は検出されなかった。*S. mutans*に対しても同様の高い消毒効果を示したが、シリンジ洗浄では3個中1個、さらに超音波を付加しても3個中1個のサンプルから残存菌が検出された。薬液による交互洗浄(NC-OX)では、いずれの菌に対しても全サンプルにおいて菌は検出されず、根管内は無菌状態になった。中性水による洗浄、超音波洗浄および薬液交互洗浄の間には、残存菌数に有意差は認められなかった。

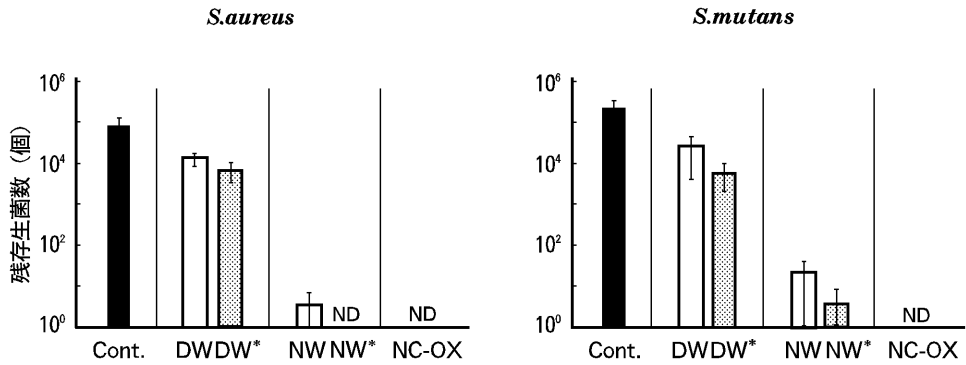


図3 根管洗浄処理後の残存細菌数。
ND: 検出細菌なし

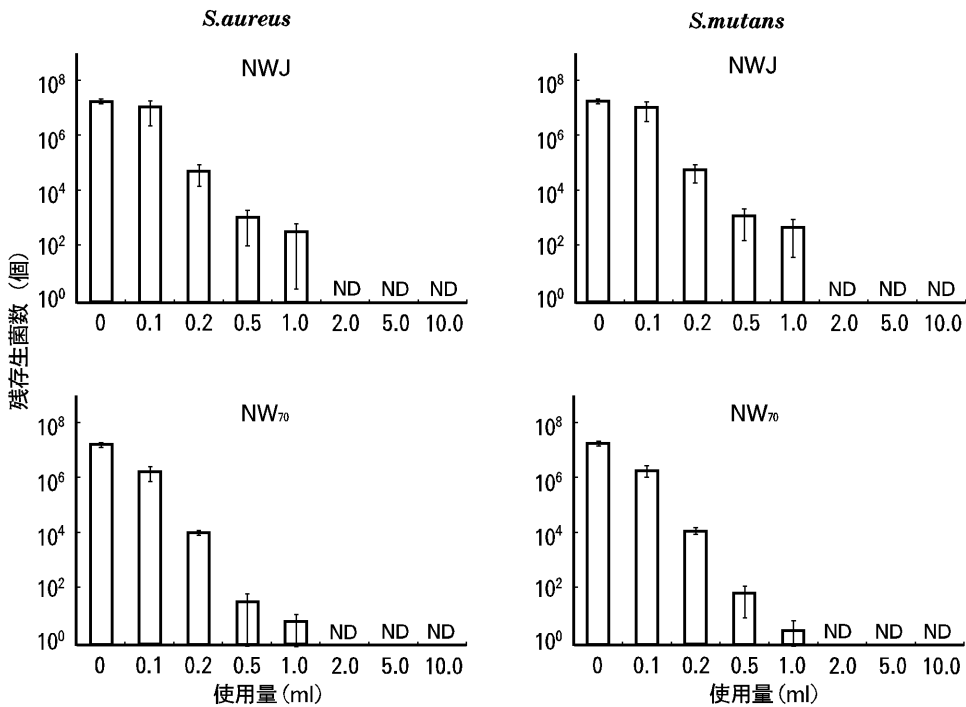


図4 ジェルおよび高残留塩素濃度中性水量による残存細菌数の変化。
ND: 検出細菌なし

III. 中性水ジェルおよび中性水 (NW₇₀) の使用量と消毒効果

各菌液 0.1 ml に対して、作用させる中性水ジェル (NWJ) 量および中性水 (NW₇₀) 量を変化させた場合の残存細菌数の変化を図4に示す。いずれも2種類の菌に

対して、20倍の使用量でも残存菌は検出されなかった。

IV. 根管洗浄処理後のジェル貼付と消毒効果

消毒効果試験の結果から0.1 mlの菌液に対して2 mlのNWJで消毒効果が十分であることが示されたが、感染根管洗浄の際の有機質との接触による殺菌作用低下を

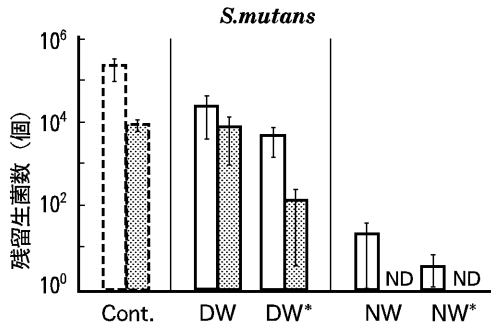


図5 根管洗浄処理後のジェル貼付による残存生菌数.

- : 無処理
- ▨ : ジェル貼付のみ
- : 根管洗浄のみ
- ▨ : 根管洗浄後ジェル貼付
- ND: 検出生菌なし

考慮し、使用するNWJ量は10mlとした。各種根管洗浄処理(DW, DW*, NW およびNW*)を行い、これに加えて5分間の中性水ジェル(NWJ)貼付を併用した場合に根管内の残存した生菌数を図5に示す。いずれの根管洗浄条件においても、それに続く中性水ジェルの貼付により、根管洗浄直後に検出された生菌数よりも減少した(p<0.01)。蒸留水による根管洗浄を行った場合、DW*は根管洗浄と中性水ジェル貼付併用において除菌率が99.94%となり、残存する生菌数は10²オーダーまで減少した。中性水による根管洗浄を行った場合、NWおよびNW*のいずれにおいても菌は検出されなかった。

V. 象牙質への影響

7日間の動的浸漬試験後のヒト象牙質表面の形態変化について代表例を図6に、また、試験片表面のSEM像を図7に示す。肉眼的観察から、DW, NW, NWJでは7日間浸漬後も色調・光沢の変化は全くみられなかったが、NCでは表面が白色化し光沢を失っていた。また表面にわずかなくぼみがみられ、浸漬前は同じ高さであった樹脂面に対して、象牙質の体積減少による約20μmのくぼみが確認できた。SEM像では象牙細管の開口状態はNCが最も大きく、DW, NW, NWJはNCに比べてやや小さかった。また、表面構造においては、DW, NW, NWJはCont.と比較して大きな差異はみられなかったが、NCでは、スミア層の溶解と思われる現象が生じ、粗造化した表面が確認された。

考 察

根管の洗浄方法としては、NaClO溶液による単独洗浄、もしくは発泡作用を付加するためにH₂O₂水との交互洗浄が一般的である。水中でNaClOがClO⁻を生じ、これが殺菌成分として働くとともに有機質溶解作用も示す。NaClOには無機質溶解作用がないため、エチレンジアミン四酢酸(EDTA)を含有する補助剤を併用する場合もある。いずれの方法でもNaClOは衣服や皮膚への接触による変色を、また、補助剤は長期停留により象牙質の不要な脱灰を引き起こすことから、使用に当たって細心の注意を払うことが必要である^{1,2)}。

近年、MRSAによる院内感染の報告、HIVの世界的な大流行に伴って、診療時の口腔液および血液の付着が

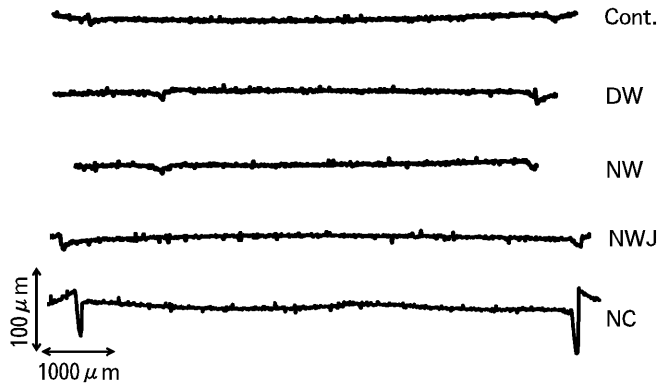


図6 7日間動的浸漬による象牙質への影響.

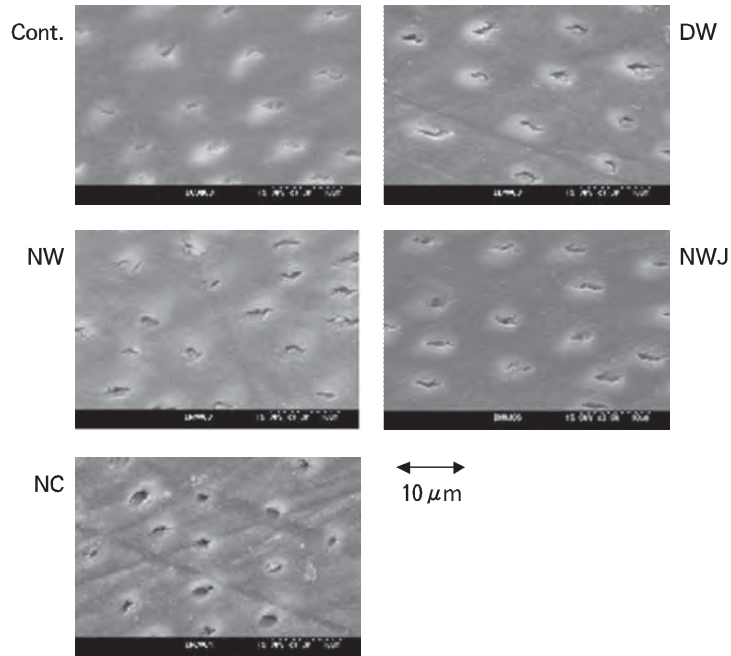


図7 7日間動的浸漬の象牙質表面のSEM像(×3000).

生じる歯科医療においても、より高度な院内感染防止対策の必要性が高まった。また、地球温暖化等の環境問題が叫ばれる中で、人体・環境に対して安全性の高い消毒・殺菌方法が望まれるようになってきた。このような背景の下、1980年代後半から、NaClを電解剤として添加した水道水を電気分解して得られる強酸性水がこれらの条件を満たす消毒用の電解水として注目され、安全性・操作性に加え、経済的に優れていることも相俟って、歯科臨床において幅広く用いられるようになった^{17,18)}。現在は、酸による歯や金属腐食等への影響が最少^{11,12)}であり、保存安定性が高い⁷⁾点からも、中性水が注目されており、口腔内への応用も含めてさらに幅広い用途への応用が可能になってきている。本研究では通法の薬剤による根管洗浄における安全性および操作性に関する問題点の改善のために、中性水による根管洗浄を行う場合の有効な処理条件について検討した。

消毒用電解水は、有機物との接触による殺菌有効成分(HClO)の濃度低下が起り、殺菌効果が減弱するという特徴があるため、使用に当たっては多量に使用することが基本である。今回、根管に注入した菌液は合計で0.1 mlであるが、根管内の容積を考えると実際は根管外に排除される菌液が多く、根管内に残存する菌液は数～

十数 μ l程度であると思われる。同様に、閉鎖的な空間である根管の洗浄において、1回の注入により根管壁に接触して洗浄する量も限られており、数回の注入あるいは連続的に新鮮な洗浄液の注入を行い、物理的に菌液の排除を行って菌数を減らしていくことが大切である。洗浄に用いた試験水および薬液は、注入により菌液を薄めながら排出することによって、まず菌数を物理的に減らすため、DWにおいても菌数の低下がみられた。有意差は認められなかったものの、超音波を加えたDW*においてはDWよりも残存菌数が減少する傾向にあったのは、洗浄時に超音波が根管壁に付着する菌に対して有効に働いたためであろう。しかし、殺菌作用をもたないDWで物理的作用を期待しても 10^5 個の菌が 10^4 個程度に減少するだけであり根管洗浄液として全く不十分であることは自明のことである。

NWの殺菌作用は、残量塩素中のHClOによる酸化作用に基づくものといわれている。このHClOは塩素形態の中でも最も活性が高く、低濃度(30 ppm)で優れた殺菌作用を発揮し、同じ濃度のNaClO溶液と比較して10～100倍もの除菌効果を示すことがわかっている^{19,20)}。

印象の消毒には次亜塩素酸ソーダ系を含め薬液処理では15分～1時間の浸漬を要するのに対し、NWなどの

電解水ではわずか1分間の浸漬または超音波洗浄で十分な消毒効果が得られるほど電解水は強力な殺菌作用をもっている⁹⁾。使用中の義歯の洗浄も強固なブランクや汚れの付着がない限りNWで1分間超音波洗浄すれば100%近く除菌でき、同時に義歯の洗浄中NWで含嗽することによって、口臭の抑制にも有効である¹⁵⁾。複雑な表面形態をもつパーでは、蒸留水中で10分以上超音波洗浄してもほとんど除菌効果は認められず、NW中に1分間浸漬しても生菌の残存がみられたが、NW中で1分間超音波洗浄するだけで完全な除菌が可能であった⁹⁾。これは、超音波による機械的作用だけでは付着菌を除去することはできず、強力な殺菌作用をもつNWを用いても浸漬だけでは凹部に付着した菌は残留してしまうことを示している。本研究における根管内の洗浄では、歯科器材の場合とは逆に通法の次亜塩素酸ソーダを用いたNC-OXの方が優れた除菌効果を示し、1分間の洗浄で*S.aureus*、*S.mutans*ともに残留生菌の存在は全く認められなかった。OXによる発泡作用も有効に作用しているものと思われる。NWを用いた場合、超音波を加えたNWの方がやや優れた除菌効果を示す傾向にあったが、1分間の洗浄では統計的にNC-OXと有意差がなかったものの残留生菌を完全になくすことはできなかった。用いた供試菌自体に対する殺菌効果は十分である(図2)ことから、根管内では有機物の存在でNWの殺菌効果が幾分弱まり、また根管内面が複雑な表面構造であるため超音波を加えても細かい凹部までその作用が達しなかったものと考えられる。

電解水を用いた根管洗浄については、他の研究者による報告も見られる²¹⁻²⁴⁾。その実験方法は、感染根管から分離した細菌に対する*in vitro*での実験²¹⁾、抜去感染根管歯に対する洗浄後の菌の有無を陽性・陰性のみで示す実験²²⁻²⁴⁾、あるいは残留菌数を求める実験²⁰⁾など研究者によりさまざまである。また、根管拡大の状況、注入する菌液の濃度や量、さらには使用する電解水のタイプ・使用量・作用時間などに大きな幅があり、それに伴い実験結果や歯科臨床への有用性の判断も多少の開きがある。平塚ら(1996)²¹⁾は、感染根管から分離した通性嫌気性菌8種、偏性嫌気性菌14種に対する殺菌効果試験を行い、0.1 mlの各菌液に0.9 mlの強酸性水を1分間作用させるといづれの菌も検出されなくなったが、有機質存在下では殺菌効果が減弱すると報告している。また、笠原ら(2002)²²⁾は、口腔から採取した歯垢を培養した菌液を天然抜去歯に感染させて作製した被験歯に対して、弱酸性水による根管洗浄を行い、菌の残存の有無を培地の混

濁から陽性、陰性で評価している。その結果、2 mlのシリンジ洗浄ではすべての被験歯で陽性であり消毒効果はないが、ボトル給液方式の超音波洗浄器に装填して流水しながら洗浄(50 ml, 100 ml)させると消毒効果が得られ、有用であることを明らかにしている。用いた電解水の種類ならびに実験方法は多少異なるが、根管洗浄のための消毒用電解水としてみた場合、超音波洗浄に関して本研究と笠原らの報告²²⁾は同様の結果を示しているといえる。超音波を加えないシリンジ洗浄については、本研究における使用量が多いため、笠原よりも高い消毒効果が得られたと考えられる。小澤ら(1998)²⁴⁾は、各種電解水による感染模型根管および感染抜去歯根管に対するシリンジ洗浄による残存菌の有無を陽性、陰性で示している。本研究と同様に、NaClO溶液による洗浄で100%の消毒効果が得られたが、電解水では効果が弱い傾向にあるので、強あるいは弱酸性タイプを多量かつ頻繁に使用することが必要であるとしている。一方、中性水による抜去感染根管歯への洗浄を行っても被験歯10本すべてが陽性で消毒効果がないという結果を示しており、本研究で得られたNWによる高い消毒効果と異なっていた。小澤らが用いた中性水には生成器に関する記載がないため本研究で用いた中性水NWと同一のものであるか否かは不明であるが、殺菌作用の有効成分である残留塩素濃度が記載によればNWの約1/2の15~20 ppmである。十分な殺菌効果を得るには残留塩素は少なくとも30 ppm以上含まれることが必要と思われる。この相違が異なる結果を示した主因であろうと考えられる。また、小澤らの報告との比較から、単純なシリンジ洗浄だけではなく超音波を付加する必要性も強調される。大城ら(1999)²⁵⁾の強酸性水を用いた試験では、感染根管に対する洗浄(約70 ml/分で1分間)による菌の残存の有無を歯根象牙質表面から100 μmまで25 μm単位で分析しており、強酸性水による超音波洗浄で表面から25 μmまでは100%の消毒効果を得たこと、さらに100 μmまでの消毒効果は薬液洗浄(NaClO溶液およびH₂O₂水の交互シリンジ洗浄)と有意差がなく、NaClOの組織刺激性を考慮した場合、強酸性水が化学的根管洗浄消毒剤として有用であるとしている。

強酸性水と中性水はともに食塩水を電気分解することによって得られるが、その手法の違いによってpHおよび残留塩素中の組成が異なってくる。強酸性水はpH2.7以下であり、このpHは微生物が生存できないデッドゾーンであるため、これだけでも強酸性水はある程度の殺菌作用を示すと考えられる。主要な殺菌作用のファク

ターは残留塩素であるが、その組成は生成した電解水の pH 値に依存している。低い pH 領域では Cl_2 が主体であり、pH 値が大きくなるにつれて Cl_2 が代わって HClO が多くなり、中性付近で HClO がほぼ 100% に達する^{19,20)}。中性水の殺菌作用はこの HClO の作用によるものである。強酸性水中の残留塩素には HClO と Cl_2 が混在しており、 Cl_2 が容易に蒸散するため塩素臭が強く、また殺菌効力が短期間で消失してしまう。しかし、新鮮な生成水を使用する限り両者の間に殺菌作用の差はなく、種々の歯科器材の消毒処理に利用するといずれも全く同等にわずか 1 分間の超音波洗浄で除菌できるという即効的で強力な殺菌効果を示す⁷⁾。したがって、いずれの電解水も根管洗浄に有効であろうと期待される。

根管洗浄に応用する場合有機物との接触による残留塩素濃度の低下も考えられるため、有機物との接触による残留塩素濃度の低下についての予備実験を行った結果、強酸性水（残留塩素濃度 45 ppm）に 1/100 量の BHI を混合すると 13 ppm (28.9%) の低下が生じたが、NW（残留塩素濃度 38 ppm）では 4 ppm (10.5%) の低下に止まり、有機物による劣化は強酸性水よりも中性水で小さいことが確かめられた。また、強酸性水は歯に対する脱灰作用が非常に強い¹⁰⁾、残存歯質保護という観点からも根管洗浄に電解水を応用する場合には中性水の方が有用であろう。

本研究で規定した 1 分間の根管洗浄では、従来法である NC-OX は 100% の除菌効果を示したが、NW、NW* の場合サンプルによっては若干数の菌の残留が認められた。洗浄液量あるいは洗浄時間を増せばさらに除菌効果が高まるとも考えられるが、著者らは中性水ジェルとの併用によって NC-OX と同等の効果を得て、さらに次の洗浄までの間根管内への菌の侵入・増殖を防ぐ方法を目指している。本研究には、まだ若干改善の余地はあるが著者らが開発した中性水ジェル (NWJ) を用い、根管壁に 5 分間貼付した。NWJ は安全性を第一に考慮して開発され、ジェル化には食品用寒天粉末と食品添加物として認可を得ている NW_{KS} 生成器で生成した高濃度中性水を用いている。本研究で根管洗浄に用いた NW_{KS} は NW より残留塩素濃度が幾分低い、図 2 に見られるように供試菌 *S.aureus* および *S.mutans* に対する NW_{KS} の殺菌作用は NW と同等であった。また、ジェルをシリンジに装填した針を通して根管への注入を可能にするために、種々の寒天濃度を試し、最適である 0.35% で調製した。HClO 濃度を 2 倍にしているため消毒効果の点でも優れており、供試菌液に対して NW、

NW_{KS} が 50 倍量の添加で無菌化したのに対し、NWJ および同濃度の中性水 NW₀ では 20 倍量で同等の効果がみられた (図 4)。実際の根管内に貼付した場合、洗浄を行わなかった Cont. に対する NWJ 貼付単独では除菌率 96.0% であった (図 5)。殺菌作用が強くてもジェル状であるため、根管壁に付着した菌液中に浮遊する大量の菌に接触して十分な殺菌効果を発揮させるのは無理であることを示している。蒸留水であっても超音波洗浄した (DW*) 後ジェル貼付することにより、付着していた菌数が 10^5 オーダーから 10^4 オーダーに減少し、さらにジェルにより 10^2 オーダーまで減少しており、あらかじめ洗浄によって菌数を減少させる必要のあることがわかる。NW、NW* では、洗浄後わずかな数の生菌しか残存していないため、その後の NWJ の併用によってすべてのサンプルで 100% の除菌効果が可能であった。

根管洗浄液の適否を論じるにあたっては、消毒効果の有効性や生物学的安全性、操作性だけでなく、根管象牙質に対する影響の有無についても検討する必要がある。通法で用いられている 10% NaClO 溶液の NC は、水道水程度のかすかな塩素臭である NW に比べて約 2600 倍の残留塩素を含有するため、その塩素臭はかなり強い。図 6, 7 に見られるように、NC 中に動的浸漬すると数時間後から象牙質表面の光沢度の低下および白色化が観察され、肉眼的にも明らかな象牙質への影響が確認された。微細な観察からも、象牙質表面の一部が溶解して体積減少が生じており、NC の化学的作用により大きな影響を受けていることがわかった。薬液を用いた根管洗浄により、象牙質の溶解、残存象牙質量の減少ならびに強度低下が生じた場合、その後の修復において種々の問題が生じることが危惧される。一方、NW、NWJ への浸漬では 7 日間浸漬後も表面性状や形態にほとんど変化はみられず、DW と同様に象牙質への影響がないため、NC よりも安全性が高いことが確認できた。

以上のように、根管洗浄法として中性水による超音波洗浄と中性水ジェルの併用は、通法である薬液による根管洗浄と同等の消毒効果を有しており、また薬液で起こり得る象牙質の脱灰を危惧する必要がないことがわかった。さらに、根管洗浄後次の処置まで水酸化カルシウムなどの薬剤に代わって中性水ジェルを根管内に封入しておくことによって、その殺菌作用で菌の増殖や新たな菌の侵入を防ぐ効果が期待される。その他、口腔粘膜や衣服に付着しても悪影響が生じる心配もなく、余分な気遣いなしに操作できることなど多くの利点を有している。このように、中性水および中性水ジェルは確実な消

毒効果と予後の維持, 生物学的安全性, 操作性など種々の観点から, 薬液に代わる根管処理液として有用であることが示唆された。

結 論

優れた殺菌効果を有しながらも生体および環境への影響がほとんどない電解中性水およびジェルを根管洗浄に応用し, *S.aureus* あるいは *S.mutans* による感染根管歯に対する消毒効果および象牙質表面, 形態への影響を調べ, 通法である薬液 (10% NaClO および H₂O₂水) による洗浄と比較し, 以下のような結果が得られた。

1. 2×10^6 個/ml の菌液に対して, 中性水は 50 倍量, 中性水ジェルは 20 倍量を作用させることで 100% の消毒効果を示した。
 2. 感染根管に対して, 薬液による交互シリンジ洗浄を行うと, 100% の消毒効果を得ることができ, 全サンプルにおいて無菌化が獲得できた。
 3. 中性水によるシリンジ洗浄により統計的には薬液洗浄と同等の高い消毒効果を得たが, サンプルによっては若干の残存菌が検出された。
 4. 中性水による超音波洗浄では, *S.aureus* に対して全サンプルで 100% の消毒効果を示した。 *S.mutans* に対しても薬液と統計的な有意差はなかったが, サンプルによっては少数の残存菌が検出され, 100% の無菌状態は得られなかった。
 5. 根管洗浄前および後の感染根管歯に対するジェル貼付により残存菌数が低下した。
 6. 中性水洗浄とジェル貼付の併用で 100% の消毒効果が得られた。
 7. 中性水, 中性水ジェルへの 7 日間浸漬による象牙質表面および形態への変化はほとんどみられず, 蒸留水への浸漬と差はなかった。
 8. 薬液への浸漬では, 象牙質表面は浸漬初期から光沢の損失, 白色化および体積減少がみられた。
- 以上の結果から, 中性水および中性水ジェルの併用は, 消毒効果と予後の維持, 生物学的安全性, 操作性など種々の観点から, 薬液に代わる根管処理液として有用であることが示唆された。

本研究の一部は, 平成 19 年度九州歯科大学同窓会共同研究費により行った。

参考文献

- 1) Yesilsoy, C., Whitaker, E., Cleveland, D., Phillips, E. and Trope, M.: Antimicrobial and toxic effects of established and potential root canal irrigants. *J. Endodontics.* 21: 513-515, 1995.
- 2) 安田英一, 戸田忠夫編: 歯内治療学 第 2 版, 医歯薬出版, 東京, 1990, 156-159.
- 3) 小園凱夫, 永松有紀, 山中雅文, 野正久雄, 柿川 宏, 田島清司: 電解酸性水の歯科領域への応用—歯科器材の消毒処理とその影響—. *Quintessence of Dental Technology Vol. 23,* 611-619, 1998.
- 4) Nagamatsu, Y.: Sterilization of impression with electrolyzed acid water. *J. Kyushu. Dent. Soc.* 50: 515-531, 1996.
- 5) 永松有紀, 谷口守昭, 陳 克恭, 田島清司, 柿川 宏, 小園凱夫: 電解中性水によるレジン床の殺菌効果. *九州歯会誌* 60: 24-31, 2006.
- 6) 野正久雄, 永松有紀, 田島清司: 電解水による歯科用器具の消毒とその腐食傾向. *九州歯会誌* 51: 784-799, 1997.
- 7) Nagamatsu, Y., Chen, K-K., Tajima, K., Kakigawa, H. and Kozono, Y.: Durability of bactericidal activity in electrolyzed neutral water by storage. *Dent. Mat. J.* 21: 93-104, 2002.
- 8) 酒井敏博, 塚崎弘明, 芝 燁彦, 清野 豊, 中根宏之, 水野二郎, 鈴木哲史, 三浦頌剛, 水野徳次: OXILYZER[®] による電解水の歯科領域への応用 生体に対する安全生について. *補綴誌* 39: 41-46, 1995.
- 9) 片岡 康, 宮川佳彦, 小山秀一, 納屋一成, 福井健二, 石原 勝: 直接流水電解水の病原細菌に対する殺菌作用と安全性試験. *日口腔機能水会誌* 6: 12-13, 2005.
- 10) 古賀裕紀子, 大住伴子, 東 泉, 黒木賀代子, 陳 克恭, 佐加良英治: 電解中性水の口腔内適用における安全生の検討. *歯薬物療* 22: 188-189, 2003.
- 11) Dong, H., Nagamatsu, Y., Chen, K-K., Tajima, K., Kakigawa, H., Shi, S. and Kozono, Y.: Corrosion behavior of dental alloys in various types of electrolyzed water. *Dent. Mat. J.* 22: 482-493, 2003.
- 12) Murakami, S., Nagamatsu, Y., Chen, K-K., Tajima, K., Kakigawa, H., Hosokawa, R. and Kozono, Y.: Corrosion behavior of water pipe metals in electrolyzed water. *Proceedings of the International Dental Materials Congress 2007,* 294, 2007.
- 13) 永松有紀, 陳 克恭, 北 訓明, 田島清司, 柿川 宏, 小園凱夫: 中性電解水の歯科臨床への応用—エナメル質への影響—. *歯材器* 27: 283-290, 2008.
- 14) 古賀裕紀子, 大住伴子, 東 泉, 黒木賀代子, 小園凱夫: マウス尾部切断創における電解中性水の局所止血効果. *九州歯会誌* 58: 51-56, 2004.
- 15) 谷口守昭, 永松有紀, 山中雅文, 柿川 宏, 小園凱夫: 電解中性水中での養菌の洗浄効果. *九州歯会誌* 62: 29-38, 2008.
- 16) 永松有紀, 北 訓明, 陳 克恭, 田島清司, 柿川 宏, 渡

- 辺健治, 小園凱夫: 改良型電解中性水ジェルの殺菌効果. 歯材器 27: 359, 2008.
- 17) 芝 燁彦: 機能水, とくに強電解酸性水の歯科臨床への応用とそれを裏づける最近の研究動向. the Quintessence 19: 959-969, 2000.
- 18) 永松有紀, 陳 克恭, 田島清司, 柿川 宏, 小園凱夫: 電解水の歯科臨床における有効な使用方法. 第1報 開業歯科医師に対する使用現状についてのアンケート調査. 九州歯会誌 57: 67-80, 2003.
- 19) 恵口利一郎: 消毒ハンドブック (三輪谷俊夫監修) 第1版, 日総研出版, 東京, 1991, 43-52.
- 20) 日根文夫: 電気化学反応操作と電解槽工学. 化学同人, 東京, 1989, 273-302.
- 21) 平塚浩一, 北村成孝, 渡邊知美, 尾上隆哉, 鈴木一吉, 吉田 勉, 堀場直樹, 松本 亨, 中村 洋: 超酸化水の感染根管内細菌に対する殺菌効果. 日歯保誌 39: 676-684, 1996.
- 22) 笠原悦男, 日高 修, 石川喜一, 井下三代子, 澤宮雄一郎, 小林敏郷, 佐藤森太郎, 山田博仁, 安西正明, 山本昭夫: 根管洗浄液としての弱酸性水の消毒効果. 日歯保誌 45: 497-502, 2002.
- 23) 小澤寿子, 中野雅子, 中村治郎: 各種電解水の根管洗浄における消毒効果. 日歯内療誌 19: 1-4, 1998.
- 24) 大城真紀, 樋口直也, 鈴木一吉, 鈴木隆一, 堀場直樹, 松本 亨, 中村 洋: 超酸化水の根管洗浄効果に関する研究. 日歯保誌 42: 478-484, 1999.
- 25) 小園凱夫: 電解中性水による消毒処理の有用性. DE 160: 32-34, 2007.