

原 著

電解中性水の矯正歯科領域への応用

Application of electrolyzed neutral water to clinical orthodontics

永井 百彦、篠口 栄司^{*1}、高橋 雅一^{*2}、七谷 康生^{*3}ながい歯科矯正歯科、しのぐちこども歯科きょうせい歯科^{*1}、ワイス歯科^{*2}、セピックス^{*3}*Momohiko Nagai, Eiji Shinoguchi^{*1}, Masakazu Takahashi^{*2}, Yasuo Shichitani^{*3}**Nagai Dental and Orthodontic Clinic, Shinoguchi Pedodontic and Orthodontic Clinic^{*1}, Weiss Dental Clinic^{*2}, Sepics^{*3}*

キーワード：電解中性水、金属の腐食性

電解中性水は強い殺菌力を持ち、その殺菌力は電解強酸性水と同程度とされている。一方、pH 中性で塩素ガスの発生が少ないため、生体や環境に対して安全性が高いとされている。矯正臨床においてこのような殺菌水を用いる場合、金属の腐食性に注意を払う必要があるが、電解中性水の矯正用線材料に対する腐食性は検討されてない。この研究では、通常用いられる4種類の矯正用線材料を5分または24時間電解中性水に浸漬した際の金属元素（Fe, Ni, Cr, Ti, Cu, Mo）の溶出量を分析した。その結果、電解中性水浸漬5分後および24時間後において、いずれの金属元素も溶出が検出されなかった。この結果は、矯正歯科臨床で電解中性水を使用する際、矯正線材料の腐食性の懸念がないことを示している。

The electrolyzed neutral water has very strong sterilizing power. The power is the same as the electrolyzed hyper acid water has. On the other hand, the electrolyzed neutral water effects safely on a living body and/or one's environment, because the generated chloride gas from the electrolyzed neutral water is little in pH neutral area. When we use these sterilizing water in clinical orthodontics, we have to take care about corrosion of metal. But, it was not investigated the corrosion for orthodontic wires exposed to the electrolyzed neutral water. In the present study, we analyzed the quantity of soluble metals (Fe, Ni, Cr, Ti, Cu, Mo) from four kinds of orthodontic wire, when these wires are exposed to the electrolyzed neutral water during 5 minutes and 24 hours. The result was that the solubility of any metals was not detected either after 5 minutes or 24 hours exposed to the electrolyzed neutral water. This result shows that we don't have to fear about the corrosion of orthodontic wires by using the electrolyzed neutral water in clinical orthodontics.

緒 言

近年、メチシリン耐性黄色ブドウ球菌 (MRSA)、緑膿菌、HBs やエイズウイルスなどが原因で起こる院内感染が医療従事者や患者にとって大きな問題となっており、その感染防止対策を考慮しなければならない時代になっている。現在、歯科領域ではオートクレーブによる滅菌が主流である。しかしながら、金属性器具の劣化・腐食などの問題や、滅菌に時間がかかることから多数の器具が必要になり利便性に欠ける面がある。特に、矯正臨床においては、患者の口腔内に試適したワイアーやバンド類、多種類のプライヤーなど金属類を多く使用する。このため、新しい滅菌法の1つとして電解強酸性水 (以下「酸性水」とする) が注目され普及してきた¹⁾が、金属に対する腐食性や塩素ガスの発生による環境悪化が懸念される。そこで、さらに新世代の機能水として電解中性水 (以下「中性水」とする) が開発された。殺菌力は、一般細菌²⁻⁵⁾、ウイルス⁶⁾を始め最も殺菌しにくいとされる芽胞菌^{2,3)}までも、低い塩素濃度 (10~20 ppm) で短時間 (10秒程度) に殺菌する効果が認められている。塩素ガスの発生がほとんどなく生体親和性の高い「中性水」は、矯正歯科臨床において応用範囲が広いと考えられるが、矯正用線材料に対する腐食性は明らかにされていない。そこで今回、矯正用線材料に対する腐食の影響を調べる目的で「中性水」による金属材料の溶出性の評価を行い、矯正歯科領域における有用性を検討した。

方 法

「中性水」は、ナショナル製 テアラッテ FJ-W03 A 2 を用いて生成し、有効塩素濃度は約 15 ppm、pH は 6.4 である。試験した矯正線材料は (1) SUS316: ステンレス線 (2) TiMo: ORTHOS TMA[®] (3) CuNiTi: ORTHOS COPPER Ni-Ti[®] (4) NiTi: ORTHOS Ni-Ti[®] である。アーチワイアー 1 本分を適当なサイズに切断し、「中性水」50 ml に浸漬して溶出試験を行った。浸漬開始 5 分および 24 時間後に溶出液を採取し分析を行った。金属元素の溶出分析は、ICP (Inductively Coupled Plasma) 発光分光分析法を用い、Fe, Ni, Cr, Ti, Cu, Mo 各元素の溶出量を測定した。分析装置は、日本ジャーレル・アッシュ製 ICAP575 Mark II を使用した。

結 果

試験した矯正線材料の成分元素である Fe, Ni, Cr, Ti, Cu, Mo の溶出量は 5 分後および 24 時間後とも、検出下限値未満であり検出されなかった (表 1)。検出下限値は元素によって異なるが、概ね 0.1 mg/L である。しかし、溶出液濃度としての定量下限値を試料重量当たりの検出下限値に換算する場合、溶出試験に用いた溶出液量と試料重量によって検出下限値が異なる。例えば、溶出試験液の量が 50 ml (0.05 L) の時、ORTHOS TMA[®] の重量は 0.2453 g なので、以下のように計算される。

$$\begin{aligned} & \text{ORTHOS TMA}^{\circledR} \text{の検出下限値} \\ &= \frac{0.1 \text{ (mg/L)} \times 0.05 \text{ (L)}}{0.2453 \text{ (g)}} = 0.0203 \text{ (mg/g)} \end{aligned}$$

表 1 各試料重量当たりの溶出量 (mg/g)

試験	供試量	溶出時間	Fe	Ni	Cr	Ti	Cu	Mo
SUS316	0.4031 g	5 min	<0.02	<0.02	<0.02	—	—	—
		24 hr	<0.02	<0.02	<0.02	—	—	—
TiMo	0.2453 g	5 min	—	—	—	<0.03	—	<0.03
		24 hr	—	—	—	<0.03	—	<0.03
CuNiTi	0.2293 g	5 min	—	<0.03	—	<0.03	<0.03	—
		24 hr	—	<0.03	—	<0.03	<0.03	—
NiTi	0.1567 g	5 min	—	<0.03	—	<0.03	—	—
		24 hr	—	<0.03	—	<0.03	—	—

—は分析を行っていない

考 察

I、電解中性水と電解強酸性水についての文献考察

水に食塩を加え電気分解をした電解水が、医療や食品工場等の殺菌洗浄水として幅広く使用されている。歯科分野においても、「酸性水」は普及し認識度は高い。一方「中性水」については、歯科関連雑誌で散見されることがほとんどなく認識度はかなり低いと思われる。しかし、新世代の機能水ともいべき「中性水」の方がより多くの長所を有していると思われるので、両者を比較検討したい。

「酸性水」は pH 3.0 以下、酸化還元電位 1000 mV 以上であるのに対し、「中性水」は pH 5.5 以上、酸化還元電位 800 ~ 1000 mV である。低濃度の食塩を含有する溶液をイオン交換樹脂の隔膜を介して電気分解すると陽極側には活性塩素や活性酸素が発生し、この塩素により塩酸が生成され pH の低い「酸性水」が得られ、また陰極側においては水素が発生し苛性ソーダが生成され電解強アルカリ性水が得られる。一方、隔膜を用いずに電気分解を行うと塩酸と苛性ソーダが中和反応し、電解液は次亜塩素酸や活性酸素を含有する中性の液になり「中性水」が得られる。電解水中では図 1 に示したような塩素化合物の平衡関係が成立し

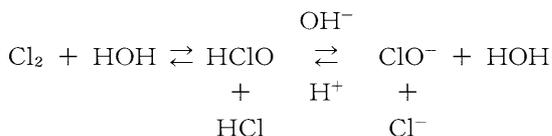


図 1 塩素化合物の平衡関係

ており、殺菌力を有するものは次亜塩素酸分子 (HClO) と次亜塩素酸イオン (ClO⁻) であるが、特に殺菌力の強いものは HClO である。「酸性水」についてもその殺菌作用は、当初低い pH と高い酸化還元電位によるものとされていたが、最近その作用機序の主体が HClO であると報告されている⁷⁾。従って、HClO の生成比率が高いほど殺菌力が強いが、この生成比率は pH によって異なる⁸⁾ (図 2)。HClO は、pH 5 付近で 99.6 % と最高値を示し、それ以下では塩素ガスが発生する。これはもともと塩素は pH の変動によって左右され、pH が低くなるほどガス化 (Cl₂) し、逆に pH が高くなるとイオン化 (HClO ~ ClO⁻) する傾向があるためである。このことから、「酸性水」より「中性水」の方が有効な次亜塩素酸濃度が高く、しかも有害な塩素ガスの発生が少なく安全であるという特徴が示される。

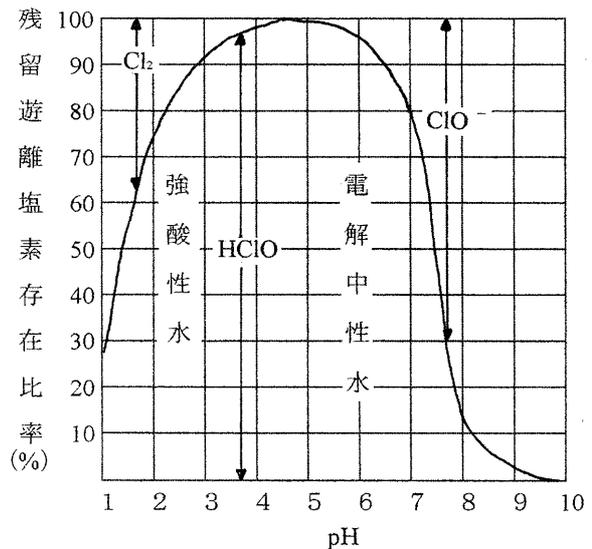


図 2 次亜塩素酸の解離平衡と pH

① 基礎殺菌力について

次亜塩素酸は非常に広い抗菌スペクトルを有するため、一般細菌や緑膿菌などの病原菌、HIV や HBs などのウイルスを始め、最も殺菌しにくいとされる芽胞菌までも、10 ~ 20 ppm の低い塩素濃度でしかも 10 秒程度の短時間で殺菌する効果が認められている²⁻⁵⁾。ただし、カンジダには 10 ppm で 60 秒、20 ppm で 15 秒を要する。枯草菌、青カビは 15 分程度で死滅する。他の一部のカビ類には死滅しないものもある^{2,3)}が、病原性はないので臨床的には問題ないと考えられる。また、薬剤のように耐性菌が生じることは報告されておらず、理論的にも耐性菌は極めて出にくい⁹⁾とされているのも大きな特徴である。

② 次亜塩素酸の安定性について

容器中に開放または密閉された環境で室温におき有効塩素濃度を測定すると、「中性水」における半減期はそれぞれ 12・13 日であるが、「酸性水」では 1 日・4 日と減少速度が早い¹⁰⁾。これは、pH が低いほど加水分解が進行して塩素ガスの発生が多くなり、残留塩素濃度が下がるためである。従って、「中性水」ではその殺菌力を長時間にわたって持続させることができ保存もしやすい。

また、大久保¹¹⁾は機能水に対する有機物の影響について、「酸性水」は 0.1 % 濃度の有機物にて殺菌効果が著しく阻害されると同時に残留塩素濃度も 30 ppm から 2 ppm 以下となったが、弱酸性水では 10 倍量の 1 % 濃度の有機物を添加しても残留塩素濃度は 25 - 50 ppm を維持しており強力な殺菌効果が持続していたと報告している。これは、酸性から中性領域へと pH が高くなるにつれて有機物添加による殺菌力の低

下が少ないことを示している。従って、血液や唾液で汚染された器材の消毒には「中性水」の方が適している。

③ 安全性について

「中性水」を用いたラットの経口毒性試験¹²⁾、ウサギの皮膚一次刺激性試験¹³⁾、眼刺激性試験¹⁴⁾等の動物実験において、いずれも異常は認められず安全であるといえる。また、芝¹⁵⁾はヒト上皮角化細胞の生存率について調べ、作用時間 30 秒で「酸性水」が約 30 % であるのに対し「中性水」では約 70 % であり、口腔内に使用しても「中性水」の方がより安全であると結論している。さらに、水道水の水質基準 46 項目すべてを満足するため、飲料用としても問題はない¹⁶⁾。しかも排水においては、「酸性水」のように希釈や中和を必要とせず¹⁾環境を汚染する懸念も少ない。

④ 利便性と経済性について

「酸性水」は隔膜を使用するため陰極側にカルシウムの付着があり電解性能が低下しやすいので、定期的なカルシウム洗浄が必要となり電極の切換が不可欠である。これに対し、「中性水」はカルシウムの付着がなく、安定した塩素濃度の電解水を得ることができ、電極寿命が長い。また、「酸性水」に比べ電力消費は小さく、電極の交換が少ないので経済的である。さらに、他の消毒薬の使用を軽減することで消毒全体のコストを節約できる。

II 金属に対する腐食性について

金属に対する腐食性について、ステンレス (SUS 304、SUS 430)、冷間圧延鋼板 (SPCC)、亜鉛メッキ鋼板 (SECCE 16)、アルミ板 (A 1050 P)、銅板 (C 1020)、ニッケル板 (Ni 99 %)、銀板 (Ag99 %) の腐食性が報告されている。「中性水」では、銅、銀、亜鉛メッキ鋼板については軽度の腐食を認め、冷間圧延鋼板は腐食が著しい。また、「酸性水」では、ステンレス、ニッケル、アルミ、銅、銀に軽度の腐食を認め、冷間圧延鋼、亜鉛メッキ鋼は腐食が著しく、いずれの程度も「中性水」より腐食性は高い¹⁷⁾。

今回の我々の実験では、矯正用線材料として広く使われているスチール線および形状記憶合金である TMA, CuNi-Ti, Ni-Ti 線の 4 種類の検討を行った。「中性水」による金属元素 Fe, Ni, Cr, Ti, Cu, Mo の溶出は、24 時間後においても検出されなかった。従って、矯正用線の消毒には「中性水」が推奨できる。また、バンド類、プライヤー類はステンレス製もしくはさらにクロームメッキされているが、今回の実験結果から腐食性の問題はほとんどないと思われる。アルミについても、同様にアルミトレーの断片を試料として測定した。5 分後は検出されなかった (< 0.003 mg/g) が、24 時間後には微量検出 (0.026 mg/

g) されたものの「中性水」の腐食性は極めて低く、アルミトレーの消毒に用いても差し支えないことが分かった。玉置らも、pH 値が中性に近いものの方が金属製の歯科用トレーに対する影響が小さいとしている¹⁸⁾。

以上から、「中性水」は金属類の消毒に適しており、10 秒の短時間で殺菌が終了することも考慮すると、使用上腐食についてはほとんど無視しうるものと思われる。

III 矯正歯科臨床での応用について

ピンカッターのような切断器具は、オートクレーブ滅菌では腐食や熱の影響で切断力の低下がおこり¹⁹⁾、口角鉤やエラスティックなどは薬液かガス滅菌に頼らなければならず、時間がかかることや薬液の毒性、効果の不確実性などの問題がある。「中性水」は、迅速かつ確実な殺菌ができると同時に、生体親和性に優れており器具類に対する腐食の心配も少ないので、矯正歯科領域においての活用が大いに期待できると思われる。そこで、著者らは以下のように応用している。

① 患者に試適したワイヤーやバンド類、プライヤー、その他矯正器具は、「中性水」を貯めたバットに 1 分位浸して殺菌後、乾燥器にて乾燥する。「酸性水」のように電解強アルカリ性水で中和する必要もなく簡便である。もっと早く使いたい時は 70 % エタノールや 99 % メタノールで清拭し乾燥を早める。

② ボトルに入れた「中性水」を患者に持ち帰らせ、食後や歯磨き後に約 30 秒間口に貯めたまま含嗽させると、口腔内細菌を無菌化し齲蝕や歯周病の予防に効果があると思われる。芝¹⁵⁾らは含嗽による *Strepto. mutans* の殺菌効果について、残留塩素濃度 0.2 ~ 1.5 ppm で洗口した場合に、作用時間 5 分・1 回では 99.8 %、1 分間・3 回では 93.5 % であったと報告している。*Candida albicans* では、作用時間 1 分 1 回で 99.8 % であった。実際には 1 分の洗口はかなり長いので、10 秒間・3 回の洗口を提案している¹⁾。著者らは、塩素濃度 10 ~ 15 ppm と芝らの 10 から 75 倍の濃度で供給しているの、30 秒間・1 回でも十分だと思われる。また、*C. albicans* は齲蝕や歯周病の直接の起縁菌ではないがプラーク形成では重要な役目を果たしていることから、30 秒間の含嗽は重要である。

また、リテーナー、アクティブプレート等の消毒にも使ってもらおう。

③ 治療前後に患者に含嗽させ口腔内を無菌化させることは、以後の処置における感染の危険性を大きく軽減する。塩素は唾液中のタンパク質やプラーク中の有機物に取りこまれやすいので、ブラッシングが不十分な患者では 10 秒間 2・3 回洗口後、30 秒含嗽させ

る。また、術者の手指の殺菌にも効果がある^{20,21)}。「中性水」をより確実に作用させるには、通常どおり薬剤にて血液や唾液を手洗い後、ペイスン法にて手指を30秒程度浸漬するほうが適していると思われる。

④ 印象採得後石膏を流す前に印象材やトレーを殺菌することは、医療従事者が患者の唾液や血液から感染する危険性を軽減する。また、石膏練和時に練和水として使用することも模型自体を無菌化できる。

⑤ 超音波加湿器により空中に噴霧すれば、院内の浮遊細菌を殺菌できる。噴霧後の有効塩素濃度は「酸性水」はわずか5%であるのに対し、「中性水」は72%残存すると報告されている²²⁾。

本論文の要旨は、第40回北海道矯正歯科学会（平成11年6月13日）において発表した。

参考文献

- 1) 芝 燁彦、芝紀代子：強電解水ハンドブック。東京、1995、医学情報社。
- 2) マルゴ検査センター：殺菌効果試験報告書 第95160-12-189号、1995
- 3) マルゴ検査センター：殺菌効果試験報告書 第95162-13-177号、1996
- 4) 日本食品分析センター：殺菌効果試験報告書 第NA67030395-2号、1994。
- 5) マルゴ検査センター：中性機能水の病原大腸菌O-157：H7に対する殺菌作用 第96162-13-177号、1996
- 6) 神戸大学医学部微生物教室：中性機能水の抗ウイルス作用について、1996。
- 7) 大久保 憲：電解酸性水の生物系観点からみた本質。機能水学会：20、1996。
- 8) 丹保憲二、小笠原紘一：洗浄水の技術—安全な飲み水を作るために—、東京、1985、技報堂
- 9) 堀田国元：電解水における最近の進歩。強電解水歯科領域研究会：12-13、1999。
- 10) 松下テクノリサーチ：有効塩素濃度の経時変化の分析・試験報告書 NO6361000、1995。
- 11) 大久保 憲：有機物による各種電解酸性水の不活化について。機能水学会：56-57、1996。
- 12) 生活科学研究所：活性酸素水のラットにおける単回投与における経口毒性試験報告書 試験コード番号 93-IA2-1004、1993。
- 13) 日本食品分析センター：皮膚一次刺激性試験報告書 第NA66100359-1号、1993。
- 14) 日本食品分析センター：眼刺激性試験報告書 第NA66100359-2号、1993。
- 15) 芝 燁彦：歯科診療における中性水機能水の有効性、Yosida Dental Products News：4-7、1996。
- 16) 環境水質研究所：手指洗浄機能水の水質について試験報告書 NOR41664-1～5、1994。
- 17) 松下テクノリサーチ：各種金属に対するサビ比較試験報告書 NO953147-00、1996。
- 18) 玉置幸道、張 祖太、他：市販印象用トレーの消毒に対する電解水の利用。強電解水歯科領域研究会：44-45、1999。
- 19) 北浦英樹、古賀義之、池田美和、井口修一郎、小林和英、他：強酸性電解水の矯正用切断器具の切断性への影響について。日矯歯誌 57：291-298、1998。
- 20) マルゴ検査センター：手指の洗浄除菌効果試験報告書 第95210-12-244号、1995
- 21) 大阪大学微生物病研究所細菌血清学部門：流水式手洗いBK装置による手洗い法の殺菌効果の報告書、1994
- 22) 松下テクノリサーチ：加湿器生成殺菌水の分析・試験報告書 NO6361000、1995。