

《短 報》

ナノバブル水を応用した 歯科用チェアユニット給水システムの汚染対策の検討

た ぐち ち え こ さい とう まさ のり こ ばやし りょう き
田 口 千恵子¹ 齋 藤 真 規² 小 林 良 喜¹
おか だ ゆういちろう³ うち やま とし かず⁴ ご とう だ ひろ や¹
かね だ 隆⁵ あり かわ かず むね¹
金 田 隆⁵ 有 川 量 崇¹

日本大学松戸歯学部 ¹ 衛生学講座, ² 感染免疫学講座, ³ 帝京大学医療技術学部
⁴ 医療管理学講座 (医療情報学分野), ⁵ 放射線学講座

キーワード：歯科用チェアユニット, 給水システム, ナノバブル水, 汚染

Prevention for Dental Unit Water Systems Using Nano Bubble Water

Chieko Taguchi¹, Masanori Saito², Ryoki Kobayashi¹, Yuichiro Okada³
Toshikazu Uchiyama⁴, Hiroya Gotouda¹, Takashi Kaneda⁵, Kazumune Arikawa¹

Departments of ¹ Community Oral Health, ² Microbiology and Immunology
Nihon University School of Dentistry at Matsudo

³ Department of Clinical Laboratory Medicine, Teikyo University
Itabashi, Tokyo 173-8605, Japan

Departments of ⁴ Dental Practice Administration (Division of Medical
Informatics), ⁵ Radiology

Nihon University School of Dentistry at Matsudo
Matsudo, Chiba 271-8587, Japan

Key Words : dentalunit, water system, nano bubble water, contamination

Nihon Univ. J. Oral Sci. 45 : 105~109, 2019

緒 言

近年, 歯科用チェアユニット (以下, ユニット) における給水システムの微生物汚染が新聞などで報道¹⁾され, 問題視されている。これまでも, ユニットの給水ライン (高速タービン, スリーウェイシリンジなどに給水するためのプラスチックチューブ) に, 細菌, 真菌, 原

虫などの微生物が定着することが報告されている²⁻⁷⁾。これらの微生物がバイオフィルムを形成し, このバイオフィルムは水中で自由に浮遊する微生物数の増加にも関与することが知られている。給水システムから回収される微生物の多くは, 病原性が低い従属栄養水生細菌である^{8,9)}が, 種々の口腔細菌, 緑膿菌, *Legionella* 属菌なども単離^{10,11)}されており, 乳幼児や高齢者, 免疫力が低下し

ている者などに対して、日和見感染のリスクの増加が推測される。海外においては高齢者の歯科治療後のレジオネラ感染による死亡事例も報告されている¹²⁾。

一般的に給水システムにおける汚染対策としては、マイクロフィルターの使用や塩素の使用、タービンの動作停止時における逆流防止対策、診療前のフラッシング（水排出）が実施されている。マイクロフィルターの使用により新たな微生物の流入は制御可能とする報告もある¹³⁾が、CDC（米国疾病管理予防センター）は、歯科用ユニット給水系回路のバイオフィーム除去や不活性化には、フィルターの装着と使用後のフラッシングに加えて化学消毒薬の使用が必要であると報告¹⁴⁾している。また、塩素の使用は遊離状態であれば殺菌は可能であるが休診時間、休診日には脱塩素が生じ、一部の微生物は生息できている可能性がある。さらに、高濃度の使用は人体への影響も考えられ、耐性菌の発生リスクも高まる懸念される。また、フラッシングによるバイオフィームの除去は困難である¹⁵⁾。ユニットの長期連続使用による給水ラインへのバイオフィーム形成によって、ユニット水は汚染されている可能性が高いことから、給水システム（チューブ）にバイオフィームの形成が起こらない汚染対策を早急に講じる必要がある。

ナノバブルは一般的に直径 200 nm 以下の超微細な気泡である。泡の洗浄効果は以前から知られており、ナノレベルの泡は、浮上速度が極めて遅く、長時間存在しバイオフィームへの高い浸透力、剥離効果、洗浄作用を示すことから、ナノバブルは医療や食品加工、畜産業などで注目を集めており、様々な分野で応用されている¹⁶⁾。¹⁷⁾。歯科分野においては、ユニット給水システムの洗浄を目的としてナノバブルを利用した方法が考案されている。

本研究では、ナノバブル発生装置を装着した歯科用チェアユニットを実際に日常診療に使用し、ナノバブル水の効果を評価した。

方 法

1. ナノバブル発生装置

ユニットのジャンクションボックス内に配管されている水道管に Dr. Nano for Dental（外径 25 mm × 長さ 70 mm、環境技術評議会社製、東京）（以下、Dr. Nano）を装着した。

2. 期 間

2018 年 2 月から 3 月までの 1 か月間とした。

3. ナノバブル水応用の有無によるユニット排出水の細菌数の比較

1) 方 法

8（A～H）歯科医院のユニット（X、Y、Z社製）に Dr. Nano を装着（計 10 ユニット）（以下、試験群）し、1 か月後、医師側スリーウェイシリンジから排出される水を採水し、細菌数の測定を行った。対照は各歯科医院の Dr. Nano 未装着ユニット（計 10 ユニット）（以下、対照群）とし、試験群と同様に採水し測定を行った。なお、各歯科医院のユニットは試験群、対照群で各 1 台であったが、A 歯科医院のみ各群 3 台ずつであった。実験期間中は、通常の歯科治療を行うものとした。

2) 細菌数の測定

細菌数の測定には、市販されている Dental EZ-Dip[®]（三愛石油株、東京）を用いた。採水した水 1 ml を Dental EZ-Dip[®] の培地に均一になるように播種し、37℃の恒温槽に静置した。48 時間培養後、Dental EZ-Dip[®] に付属されている対照表と比較し判定した。この対照表は生菌数（CFU/ml）を $10^1 \sim > 10^6$ までの 6 段階に分類するものである（参照：Dental EZ-Dip[®], <https://www.dental-ez-dip.com/example/>）。

3) 統計解析

統計ソフト SPSS20.0J（IBM）を使用し、ナノバブル水応用の有無によりユニットから検出される細菌数（ランク）の比較を Mann-Whitney U 検定により行った。有意水準を 5% 以下とした。

結 果

試験群における細菌の検出は 10 台のユニットすべて 0 CFU/ml であった。一方、対照群においては、0 CFU/ml が 1 台、10 CFU/ml が 2 台、 10^2 CFU/ml が 2 台、 10^3 CFU/ml が 3 台、 10^4 CFU/ml が 1 台、 10^5 CFU/ml が 1 台であった。試験群の細菌数は対照群に比較し、有意（ $p < 0.001$ ）に少なかった（Table 1, Fig. 1）。

考 察

歯科用ユニットからの細菌の検出は国内外から報告されている²⁻⁸⁾が、今回の結果からもユニットより排出される水には細菌が多く検出された。給水システム中の細

Table 1 Number of total viable bacterial rank by the Dr. Nano with or without.

Dental Office	Dental unit manufacturer	(CFU/ml)	
		With Dr.Nano	Without Dr.Nano
A-1	X	0	10 ⁴
A-2	X	0	10 ⁵
A-3	X	0	10 ³
B	Y	0	0
C	Y	0	10 ²
D	Z	0	10 ¹
E	Z	0	10 ³
F	X	0	10 ¹
G	Y	0	10 ³
H	X	0	10 ²

p < 0.001^a

a: Comparison between Dr. Nano with and number of bacteria rank of without, Mann-Whitney U test

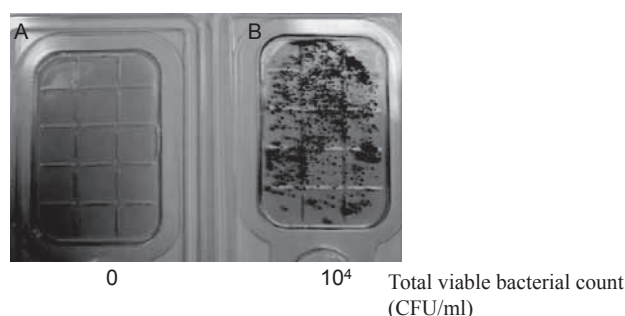


Fig. 1 Culture result by the EZ-Dip[®] A; with Dr. Nano, B; without Dr. Nano (Dental Office A-1)

菌の増加はサックバック現象による細菌の逆流やユニットの配管の構造の複雑性、夜間や診療休日の水流停止による水流の停滞¹⁸⁾、給水システムのチューブ内部に形成されたバイオフィルムの存在などが考えられる。

今回、ナノバブルの発生に用いた Dr. Nano は、水道圧だけで加速された水がスクリューにぶつかり短時間で急速に減圧されキャビテーションが発生し、水道水中に溶けていた空気がナノバブルとして析出する仕組みである。Dr. Nano の利点としては他のナノバブル発生装置に比較し小型であり、ユニットのジャンクションボックス内に立ち上げられた水道管に装着する簡便なものであり、電気工事の必要もなく離脱着についても容易に行うことができる。発生された水は色調の変化などは認められず味覚、臭覚の変化も示されない。化学的な殺菌作用は認められないことからバイオフィルムの形成抑制や剥離については、ナノレベルの泡の物理的な作用が主とな

ると考えられる。

ナノバブル水の応用 (Dr. Nano 装着後) により、およそ 10 日間は水道水質管理における目標値 (2×10^3 CFU/ml 以下)¹⁹⁾ を超え多くの従属栄養細菌が検出されたが、約 1 か月後には目標値を下回るまで減少した (未掲載データ)。これは、対象としたユニットが数年間診療に使用されていたことにより既に給水システム中に形成されたバイオフィルムがナノバブル水により剥離されるのに最低でも 10 日間程度かかった結果と考えられる。そのため、Dr. Nano 装着後、10 日間程度は剥離されるバイオフィルムの排出をフラッシングにより十分に行う必要がある。さらに、給水システムのバイオフィルム剥離後はナノバブル水がバイオフィルムの形成抑制に作用していることが示唆される。ナノバブルは浮上速度が極めて遅いため、夜間や診療休日の水流停止時においても給水システムのチューブ内に存在し、バイオフィルムの形成を抑制していると推察される。

ユニットからの細菌検出が問題となり歯科医院での水質管理や対策への取組みが行われている中で、簡便な水質検査の方法として、微生物簡易測定キット Dental EZ-Dip[®]が開発されている。この測定キットは、プラスチックトレーの培地に、検体を採取し、37℃、24 時間以上で判定を可能とし、対照表比較により、生菌数を計測することで、一般検査法による検査と同等の検査結果が得られるものである。短時間で簡便に実施できることから、歯科医院における水質検査としては、有用であり、本研究では Dental EZ-Dip[®]を用いた。

試験群 (Dr. Nano 装着)、対照群 (Dr. Nano 未装着) のユニット排水からの細菌数を比較した結果、試験群において細菌は検出されなかった。一方、対照群では、10 台中 9 台のユニットにおいて細菌が検出された。さらに、対照群の細菌が検出された 9 台中 5 台のユニットからは、一般細菌数の水質基準値 1×10^2 CFU/ml 以上が検出された。今里らは²⁰⁾、ユニット給水システムの汚染とその防止としてポリウレタン系チューブ配管の場合と柔軟フッ素コートチューブ配管の場合の細菌数の比較検討を行い、ポリウレタン系の方で細菌数が多いが、柔軟フッ素コート系であっても多数の細菌数が検出されることを報告している。本研究では、Dr. Nano を装着したユニットメーカーは 3 社であり、特に給水システムの使用材質について検討してはいない。また、各歯科医院でのユニットの使用年数や診療内容についての均一化は

行っていないが、それぞれが異なる条件においても、1か月のナノバブル水の応用の効果が確認された。なお、対照群において1台のユニットから細菌が検出されなかった点について、ユニット使用年数が少ない、比較的診療頻度が高い¹⁵⁾などの理由が考えられるが、今回、詳細な検討は行っていない。

微酸性電解水（有効塩素濃度 10~30 ppm, pH 6.3~6.8）²¹⁾や残留塩素補正消毒システムの導入²²⁾には、配管を特別仕様にするのが言及されているが、今回、ナノバブル水の応用によるユニット本体自体への影響は認められていない。ナノバブルは水の性質を変換させるものではないため、pHの変動などは生じず給水システムの腐食や金属の溶出等が起こる可能性は極めて低く、安全に運用されると考えられる。しかし、バイオフィルムの形成能を考慮した場合、給水システムのチューブには、内面に凹凸がない材質を選択することはより有効であると推察される。

以上のことから、歯科用ユニットへのナノバブルの応用は、バイオフィルムの剥離および形成抑制に有用な関与をしている可能性が示唆された。しかし、研究期間が1か月と短期間であったこと、一時点での細菌の検出のみであったことから、今後の課題として、長期間での細菌の経時的変化、従属栄養細菌に特化した測定、配管への影響について検討を加えていく必要がある。また、ユニットにおけるバイオフィルムの形成抑制と剥離に関する日本工業規格（JIS）「歯科-歯科用ユニット給水管路内バイオフィルム処理の試験方法」²³⁾が示されており、これらに準じたさらなる詳細な検討の必要性が考えられる。

結 論

歯科用ユニットへのナノバブル水の応用は、給水システムにおける水の汚染対策に有効であると考えられた。

謝辞並びに利益相反

本研究の一部は、一般社団法人新環境技術評議会の共同研究費によるものです。本研究の遂行に際し、終始ご助言いただきました新環境技術評議会 川合寛幸様、田中正彦様、長島 賢様、オピアン・デンタル・オフィス 大津隆弘先生、原宿デンタルオフィス 山崎長郎先生に深謝致します。

本論文に関連し、発表者らに開示すべきCOI関係に

ある企業等はありません。

文 献

- 1) 渡辺理雄：機器に滞留し増殖対策不十分。読売新聞、2015年8月27日・夕刊（第52624号）：9。
- 2) Walker JT, Bradshaw DJ, Bennett AM, et al.: Microbial biofilm formation and contamination of dental-unit water systems in general dental practice, *Appl Environ Microbiol*, 66: 3363-3367, 2000.
- 3) Schulze-Röbbecke R, Feldmann C, Fischeder R, et al.: Dental units an environmental study of sources of potentially pathogenic mycobacteria, *Tuber Lung Dis*, 76 : 318-323, 1995.
- 4) Barbeau J, Gauthier C, Payment P: Biofilms, infectious agents, and dental unit waterlines: A review, *Can J Microbiol*, 44: 1019-1028, 1998.
- 5) Williams JF, Molinari JA, Andrews N: Microbial contamination of dental unit waterlines: origins and characteristics, *Compend Contin Educ Dent*, 17: 538-540, 542, 558, 1996.
- 6) Challacombe SJ, Fernandes LL: Detecting *Legionella pneumophila* in water systems: a comparison of various dental units, *J Am Dent Assoc*, 126: 603-608, 1995.
- 7) 荒木孝二, 白井和弘, 毎熊容子他：デンタルユニット水ラインの細菌汚染について, *日歯保存誌*, 43: 16-22, 2000.
- 8) Barbeau J, Tanguay R, Faucher E, et al.: Multiparametric analysis of waterline contamination in dental units, *Appl Environ Microbiol*, 62: 3954-3959, 1996.
- 9) Williams JF, Johnston AM, Johnson B, et al.: Microbial contamination of dental unit waterlines: prevalence, intensity and microbiological characteristics, *J Am Dent Assoc*, 124: 59-65, 1993.
- 10) Tall BD, Williams HN, George KS, et al.: Bacterial succession within a biofilm in water supply lines of dental air-water syringes, *Can J Microbiol*, 41: 647-654, 1995.
- 11) 伏見華奈, 齋藤敦子, 更谷和真他：歯科用ユニットに潜在するレジオネラ感染のリスク, *日環境感染症誌*, 33: 136-142, 2018.
- 12) Ricci ML, Fontana S, Pinci F, et al.: Pneumonia associated with a dental unit waterline, *Lancet*, 379: 684, 2012.
- 13) 田口正博：歯科用ユニットに装着した逆汚染対策機能付き給水系フィルターの長期使用後における微生物除去効果-診療室における滅菌と消毒の実際 その9-, *日歯内療誌*, 26: 129-134, 2005.
- 14) 田口正博, 西原達次, 吉田俊介, 小林寛伊監訳：歯科医療現場における感染制御のためのCDCガイドライン, メディカ出版, 大阪, 2004.

田口ら：ナノバブル水を応用した歯科用チェアユニット給水システムの汚染対策の検討

- 15) 島谷和恵, 茂木美保, 八木下和恵他：希釈次亜塩素酸水の長期使用による歯科用ユニット給水系の細菌汚染制御効果の可能性, 口腔衛生会誌, 66: 371-380, 2016.
- 16) 眞野喜洋：ナノバブルの医療分野への応用, 月刊マテリアルインテグレーション, 22: 30-35, 2009.
- 17) 高橋 晋, 相馬 充, 館花志穂他：マイクロバブルを利用した水産加工場排水の浄化, 日本マイクロ・ナノバブル学会誌, 4: 27, 2016.
- 18) 玉澤かおる, 八木一枝, 堀内 博：歯科用ユニット給水系の部位別にみた汚染状況, 日歯保存誌, 28: 243-248, 1985.
- 19) 厚生労働省：水質基準に関する省令（平成 15 年 5 月 30 日厚生労働省令第 101 号）, 一部を改正する省令健康局長通知（平成 19 年 11 月 15 日健発第 1115003 号）.
- 20) 今里 聡, 薮根敏晃, 恵比寿繁之：デンタルユニット給水系の汚染とその防止－チューブ内面でのバイオフィルム形成とフッ素コートチューブの汚染防止効果－, 日歯医師会誌, 61: 997-1004, 2008.
- 21) 小澤寿子, 中野雅子, 池野正典他：微酸性電解水を使用した歯科用ユニット水回路の汚染対策, 日環境感染会誌, 30: 379-384, 2015.
- 22) 矢島孝浩, 米山武義：歯科用ユニット給水系の細菌汚染の実態およびその対策の有効性さらに経年的経過に関する研究, 日歯医療管理会誌, 53: 46-51, 2018.
- 23) JIS T 5111 (ISO 16954: 2015)「歯科－歯科用ユニット給水管路内バイオフィルム 処理の試験方法」, <http://search.e-gov.go.jp/servlet/PcmFileDownload?seqNo=0000173604> (2018 年 12 月 8 日アクセス)