

消毒薬2種類による人工呼吸器清拭効果の細菌学的検討～殺菌・静菌効果～

吉岡 淳^{1)†}・西本千尋²⁾・加藤正太²⁾・長岡春菜¹⁾・吉岡淳子¹⁾・三木 誠³⁾

KEY WORDS 人工呼吸器清拭, コロニー, 次亜塩素酸水, 次亜塩素酸ナトリウム

要 旨

人工呼吸器清拭時において、殺菌機構の異なる消毒薬2種類の殺菌および静菌効果を細菌学的に比較検討した。消毒薬はシーエルフライン®（次亜塩素酸水）とセイフキープ（次亜塩素酸ナトリウム）を対象とし、人工呼吸器NKV-330（日本光電工業社）の表面で検証した。表面付着菌の測定はコンタクトプレート法とし、①消毒前、②消毒直後、③消毒から24時間後の人工呼吸器表面（画面、ガス吸入ポート、取手）のコロニー数（colony forming units：CFU）を各々10回測定した。消毒前後のコロニー総数の変化量（中央値と四分位範囲〈Inter-Quartile Range：IQR〉）は、シーエルフライン®-25.5（IQR [-31.5～(-11.3)]）、セイフキープ-20.5（IQR [-30～(-10.3)]）であり統計学的有意差を認めなかった。消毒から24時間後のコロニー総数の変化量は、シーエルフライン®1.5（IQR [0～2]）、セイフキープ3（IQR [2～4]）で、シーエルフライン®のコロニー数の変化量はセイフキープと比べて有意に低値を示した（ $p<0.05$ ）。次亜塩素酸水は殺菌と静菌の二面的消毒効果に優れていることが示唆された。

I 序 文

人工呼吸器などの医療機器は主に消毒薬を含浸させた環境クロスを用いた手作業による清拭処理がされているが、拭き残しの可能性や薬剤耐性菌への効果が小さいことが知られている^{1,2)}。近年においては、院内感染の原因となり得るウイルスや細菌（以下、微生物）に高い殺菌効果を示す紫外線やオゾン、次亜塩素酸水の使用が普及し始めている^{3～5)}。紫外線やオゾンの長期曝露は人体への危険があり、隣接で業務に携わる医療従事者の健康管理面において十分な予防策を講じる必要がある^{6,7)}。一方、次亜塩素酸水は消毒薬として使用される次亜塩素酸ナトリウム水溶液と混同されるが、塩化ナトリウム溶液を電気分解して生成される電解水で、人体への危険が低いことが示されている⁸⁾。

今回、我々は人工呼吸器を介した感染予防を目的に、新たにシーエルフライン®（イオンレス次亜塩素酸水、ニプロ社）を日本赤十字社仙台赤十字病院（以下、本院）に導入し、従来の次亜塩素酸系消毒薬との殺菌効果を明らかにした結果、若干の知見を得たので以下に報告する。

II 対象・方法

1. 次亜塩素酸水の概要

シーエルフライン®は、上述したように日本薬局方塩化ナトリウムと精製水を原料とした電解水で、有効塩素濃度 $40\pm 10\text{ppm}$ 、pH 5.0～6.5、塩化ナトリウム 10mg/L 以下で生成された酸性水溶液である。独自の無塩電解水生成装置を用いて製造することでNaClや硝酸イオン、硫酸イオンなどのイオンを低減し、不純物量が少ない特長を有する。また、pHを微酸性に調整することで、金属腐食作用も少ない⁹⁾。ただし、本品の区分は医薬品ではなく、雑貨となる。

2. 試料採取箇所

本院で使用している人工呼吸器NKV-330（日本光電工業社、防水規格〈IP22〉、医療機器届出番号13B1X00206000367）

1) 日本赤十字社 仙台赤十字病院 医療技術部 臨床工学技術課
2) 群馬医療福祉大学 医療技術学部 医療技術学科 臨床工学専攻
3) 日本赤十字社 仙台赤十字病院 呼吸器内科
† 責任著者
[受付日：2024年8月23日 採択日：2024年12月9日]

消毒薬2種類による人工呼吸器清拭効果の細菌学的検討～殺菌・静菌効果～

の画面（A：前面）、ガス吸入ポート（B：側面）、取手（C：上面）の3箇所を試料採取箇所とした。

3. 用手清拭手順（次亜塩素酸系消毒薬）

環境清拭用シートのセイフキープ次亜シート（次亜塩素酸ナトリウム、花王社）を使用した。NKV-330使用後に常時日勤で勤務する複数名の臨床工学技士が、4、5枚程度の次亜シート（140mm×200mm）で拭き残しがないよう装置の上部から下部の順に一方向に清拭した。医療従事者の触る頻度が多い箇所は単体1枚で使用した。血液付着時は廃棄可能なペーパータオルで拭き取るなどの物理的除去をした後、水拭きし、そのうえで清拭した。清拭後は装置全体をビニール袋で覆い保管した。一般に、アルコールや次亜塩素酸系消毒薬は、液晶画面の特殊コーティングの剥がれや変色・退色などの懸念から、使用を控えるよう通達がされている。しかし、現在は新型コロナウイルス感染症防止のために、次亜塩素酸ナトリウムは経済産業省と独立行政法人製品評価技術基盤機構（NITE）が新型コロナウイルス対策として物品の消毒用に推奨している¹⁰⁾。

4. シーエルファイン®スプレー手順（次亜塩素酸水）

ハンドスプレーボトルにシーエルファイン®を充填して、人工呼吸器に直径6cmの範囲を目安に1回、直接スプレーした。スプレー後は10秒経ってからペーパータオルで拭き取った。血液付着時および保管は用手清拭と同様にした。上述したとおり、次亜塩素酸水は金属やステンレス、樹脂部分にも使用できることから素材に浸透しやすいように多少は次亜塩素酸水が重なる程度にスプレーをした。ただし、NKV-330の防水・防塵規格がIP22と簡易防水であることから、液が内部に浸入する場所は基板破損やトラッキング現象が生じ発火するおそれがあるため、液垂れに注意しながらスプレーをした。

5. 試料採取手順

細菌学的評価を表1に示す。表面付着菌の測定はコンタクトプレート法とし¹⁰⁾、使用した培地に生育し得る環境中に存在する微生物を観察した。細菌増殖培地にはSCD-LP寒天培地コンタクトプレート（直径5.4cm：面積24cm²、エンバイオ社）を用い、SCD-LPの培地表面を対象の表面に10秒間押し当て試料採取した。培地表面を押し当てる際は、培地ごとにスタンプする場所を変えた。

①消毒前（コントロール）、②消毒直後（用手清拭もしくはスプレー後）、③消毒から24時間後の3つのタイミングでただちに対象試料を採取し、細菌培養器（35℃）にて常法に従い約20時間培養した。

6. 分析方法

使用後のNKV-330からランダムに延べ20台で、用手清拭もしくはスプレーで各々10回の試料を採取し、各プレート培地に発育した細菌コロニー数（colony forming units：CFU）を目視から計測した。人工呼吸器は使用時間（日数、時間）、使用中の環境衛生の状況により機器使用終了時点での汚染度合いにばらつきを生じることが推測されることから、消毒前と消毒直後（用手清拭もしくはスプレー後）、消毒から24時間後の各々のコロニー数から変化量として算出し、各群間の比較はWilcoxon signed rank testを用いて統計学的有意水準は危険率5%未満とした。

7. 倫理的配慮

本研究は人や動物にかかわる研究でないことから、仙台赤十字病院倫理委員会から審査適用外と判断された。

Ⅲ 結果

図1に消毒前、消毒直後（用手清拭もしくはスプレー後）、消毒から24時間後の画面（a）、ガス吸入ポート（b）、

表1 試料の細菌学的評価

時間	作業
前日	コンタクトプレートが室温になるように冷蔵庫から取り出す。
8：00AM～17：00PM	消毒前にコンタクトプレートを人工呼吸器の表面に当てる（①）。 消毒後、速やかにコンタクトプレートを人工呼吸器の表面に当てる（②）。 人工呼吸器をビニール袋で覆い保管する。 ①と②を細菌培養器（35℃）にて、約20時間培養する。
8：00AM～17：00PM （翌日）	細菌培養器から①と②を取り出し、プレート培地に発育したコロニー数を計測する。
人工呼吸器消毒から24時間後	コンタクトプレートを人工呼吸器の表面に当てる（③）。 ③を細菌培養器（35℃）にて、約20時間培養する。
（翌日）	細菌培養器から③を取り出し、プレート培地に発育したコロニー数を計測する。

消毒薬2種類による人工呼吸器清拭効果の細菌学的検討～殺菌・静菌効果～

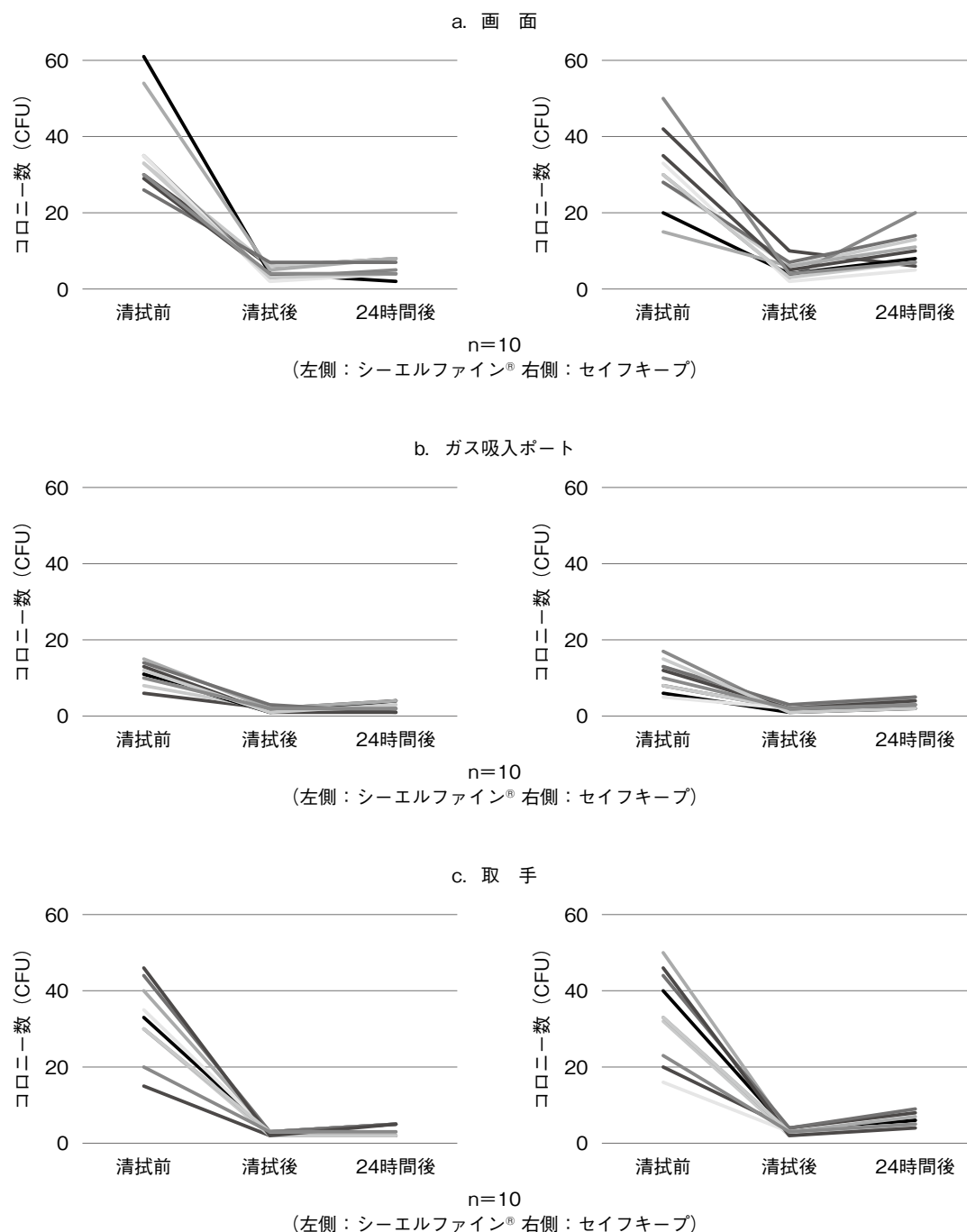


図1 試料採取箇所における消毒前、消毒直後（用手清拭もしくはスプレー後）、消毒から24時間後のコロニー数（CFU）

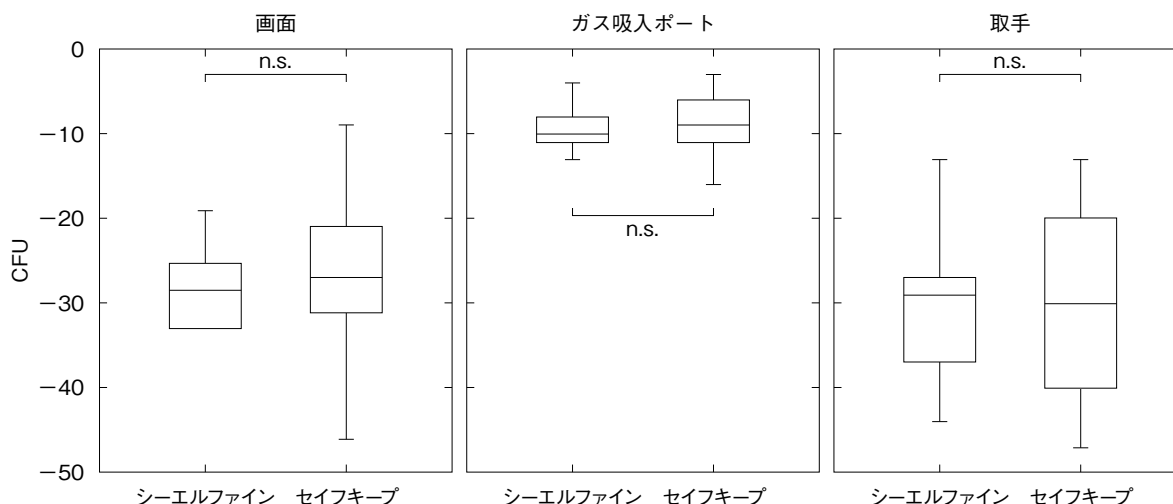
取手（c）のコロニー数を示す。消毒薬2種類とも、消毒前後ならびに消毒から24時間後で、画面、ガス吸入ポートおよび取手のすべてのサンプルからコロニーを検出し、画面が最も多かった。消毒前のガス吸入ポートのコロニー数は、画面や取手に比べて3分の1程度少なかった。

図2に画面、ガス吸入ポートおよび取手の消毒前と消毒直後（用手清拭もしくはスプレー後）のコロニー数の変化量（中央値）を示す。シーエルフライン®の画面は

−28.5CFU、ガス吸入ポートは−10CFU、取手は−29CFUであった。セイフキープの画面は−27CFU、ガス吸入ポートは−9CFU、取手は−30CFUであった。すべての箇所でシーエルフライン®とセイフキープは同程度の変化量で、統計学的有意差を認めなかった。

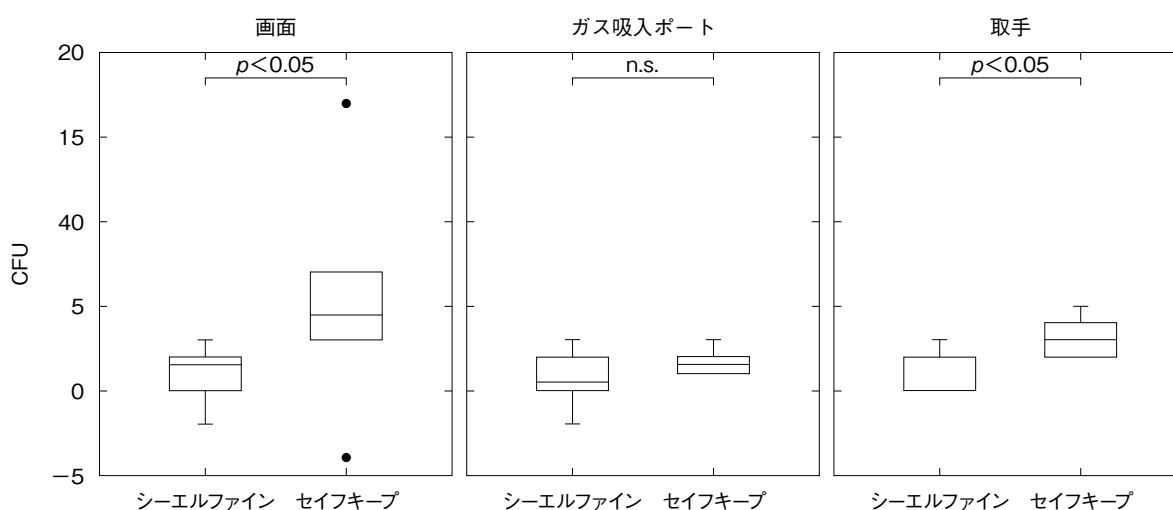
図3に消毒直後と24時間後の各々のコロニー数の変化量（中央値）を示す。シーエルフライン®の画面が1.5CFU、ガス吸入ポートは0.5CFU、取手は2CFUであった。セイ

消毒薬2種類による人工呼吸器清拭効果の細菌学的検討～殺菌・静菌効果～



【図2】画面、ガス吸入ポートおよび取手の消毒前後のコロニー数の変化量 (CFU) の比較

消毒前 (コントロール) のコロニー数が試料採取ごとで異なるため、コロニー数の変化を客観的に見るために消毒前後の変化量とした。



【図3】画面、ガス吸入ポートおよび取手の消毒直後と24時間後のコロニー数の変化量 (CFU) の比較

消毒直後のコロニー数が試料採取ごとで異なるため、コロニー数の変化を客観的に見るために消毒直後と消毒から24時間後の変化量とした。

フキープの画面は4.5CFU、ガス吸入ポートは1.5CFU、取手は3CFUであった。画面および取手において、シーエルフライン®のコロニー数の変化量はセイフキープの変化量に比べて有意に低値を示した ($p < 0.05$)。

Ⅳ 考察

本研究では人工呼吸器表面において、消毒薬2種類による環境細菌の制御効果を評価した。その結果、消毒前と消毒直後 (用手清拭もしくはスプレー後) のコロニー数の変化量は、統計学的有意差を認めず、シーエルフライン®とセイフキープの殺菌作用は同程度であることが

示唆された。一方、消毒から24時間後のコロニー数の変化量は、場所によってはシーエルフライン®のコロニー数の変化量はセイフキープの変化量に比べて有意に低値を示し、シーエルフライン®では24時間を経過してもコロニーの増加をほぼ認めなかった。

一般的な次亜塩素酸系の消毒薬中には、次亜塩素イオン (ClO^-)、次亜塩素酸 (HOCl)、水酸化ナトリウム (NaOH) が含まれている¹¹⁾。 ClO^- は、細菌の形質膜を通過できないため形質膜の外側からのみ、殺菌効果を示す。 HOCl は、細菌の細胞壁と形質膜を容易に通過できるため微生物の外部および内部から強力な抗菌活性を発揮

消毒薬2種類による人工呼吸器清拭効果の細菌学的検討～殺菌・静菌効果～

でき、殺菌効果は ClO^- より約80倍高いとされている¹²⁾。次亜塩素酸ナトリウム水溶液中における HOCl の濃度は、水溶液のpHに依存している。アルカリ性の次亜塩素酸ナトリウム水溶液などでは HOCl よりも ClO^- の存在比率が高く、pHの低下に伴い HOCl の存在率が増加し、pH6から4では HOCl がほぼ全体を占める。セイフキープに配合される次亜塩素酸ナトリウム水溶液は、殺菌の主力因子である HOCl の存在はわずかであり、多くは ClO^- が存在している。シーエルフライン®の主成分である塩化ナトリウム溶液を電気分解して生成される酸性の次亜塩素酸水中には、 HOCl がほぼ100%として存在する。本研究では、シーエルフライン®をメーカー推奨の回数、範囲、つけ置き時間の後に拭き取りをしたが、セイフキープとの殺菌作用は同程度であった。シーエルフライン®のスプレー回数もしくはつけ置き時間を見直すことで、セイフキープ以上の殺菌作用を得られるかもしれない。その際は、液垂れが多く起こることから機器に対して水分が問題にならないかを取扱説明書で仕様などを確認しておく必要がある。一方で、シーエルフライン®はセイフキープと比較して24時間後のコロニー数を抑え込めていたことから、次亜塩素酸水のような HOCl が多量に含まれた水溶液には殺菌作用に加えて、微生物の増殖速度の低下や育成を停止させる「静菌作用」を促進させる効果があることが示唆された。

セイフキープを用いた消毒では、図1・2に示すように画面においてコロニー数に統計的に有意差はないが、ばらつきが見られた。ばらつきの要因には、清拭前の汚染具合、清拭の仕方、シートの使用量、微生物の不活化の効果などの多因子が考えられる。多くの医療機関の現状として、環境や医療機器は主に消毒薬を含浸させた環境クロスを用いた手作業による清拭処理がされているが、使用した消毒薬がクロスなどの影響で濃度が低下することで微生物が残存した可能性や、教育の不備による個々の消毒手技・技量の差がばらつきの要因と推測された。反して、シーエルフライン®にばらつきが少なかったことからスプレー方式は次亜塩素酸水の細粒子が環境表面に満遍なく付着し、均一な殺菌効果が得られることで、人による清拭手技、技量の不足を補えると考えられる。また、本院では感染対策上、次亜シートを複数年用いているが、次亜塩素酸ナトリウムによる液晶画面の劣化などについて注視する必要がある。

本研究の細菌学的評価において、消毒後に人工呼吸器の表面から一定程度の細菌コロニーが検出された。いう

までもなく、人工呼吸器は免疫力の低い新生児にも使用され、保育器と同様に新生児院内感染の原因の1つとして重要視されている。しかしながら、保育器表面に対する消毒薬の消毒効果に関する先行研究は数多くあるが^{13～15)}、人工呼吸器での先行研究がこれまでにない。そこで今回、異なる消毒薬を対象に消毒後の詳細な殺菌効果を明らかにした。コロニー数から殺菌力は消毒薬2種類とも同程度であることが示されたが、細菌制御に関しては一般に推奨されている次亜塩素酸ナトリウムによる消毒では24時間後にコロニーの増殖が認められた。環境中に付着した微生物の生存期間は微生物種により異なり、環境表面に付着残存している微生物の生存にどの程度の栄養素や水分が必要であるかは明らかではないが、乾燥した環境表面において、メチシリン耐性黄色ブドウ球菌（methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* : MRSA）は7日～7カ月間、バンコマイシン耐性腸球菌（vancomycin-resistant *Enterococci* : VRE）は5日～4カ月間、緑膿菌は6時間～16カ月間、*Clostridioides difficile* (C. difficile) は5カ月間、アシネトバクター属は3日～5カ月間、ノロウイルスは8時間～7日間生存することが報告されている¹⁶⁾。本研究は環境表面に広く生息しているさまざまな微生物の集落を検出した寒天培養法で微生物の特定までには至っていない。しかし、コロニー数を観察したことで条件によっては、微生物は人工呼吸器表面に比較的長期間生存が可能で、かつ、増殖が見られる期間が存在することがわかった。人工呼吸器は施設ごとで所有する台数は異なり、機種によっては数週間から数カ月待機する装置がある。そのため、消毒してからある一定期間が経過した人工呼吸器は、使用前に再度、消毒薬で清拭して二次感染を防止する必要があると考えられる。

次亜塩素酸水は次亜塩素酸ナトリウムとは異なり、人体への毒性および刺激性に関する試験において問題となる所見は認められていない¹⁷⁾。平成14年には食品添加物として指定を受け、カット野菜や歯科口腔外科での口腔内消毒で使用されている¹⁸⁾。本研究ではシーエルフライン®をスプレーして微生物の殺菌、不活化の検討をしたが、スプレーの際に発生する次亜塩素酸水の霧化粒子については動物実験でその安全性が確認されており¹⁹⁾、人工呼吸器を清拭するうえで、使用には問題はないものと考えられる。また、本研究では一般的なハンドスプレーボトル（1プッシュ約0.3mL）を用いて添付文書の記載どおりに直径6cmの範囲を目安に1回を直接スプレーしたが、濃度を一定程度に保つために多少は次亜塩素酸水が

消毒薬2種類による人工呼吸器清拭効果の細菌学的検討～殺菌・静菌効果～

重なる程度にスプレーをしたことで液垂れを起こし、臨床使用に課題が残った。スプレーボトルには微細のミストを広範囲に噴霧できる観葉植物の霧吹きがあり、蓄圧式スプレーノズルを採用しているものは一般的なスプレーボトルと比べて噴射時間が長く、広い範囲にミストが細かく行き渡ることによって液垂れも少ない。スプレーの液垂れ対策と手間を省くためにはスプレーボトルの選択も重要になるものと考えられる。

本研究の限界として、消毒薬の使用方法が挙げられる。微生物の不活化効果の違いは消毒薬の成分が要因の1つと考えられることは上述したとおりだが、消毒方法については、次亜塩素酸水は薬液噴霧後10秒間薬液に浸されているのに対して、次亜塩素酸ナトリウム水溶液は清拭シートを介して機材に接しているにすぎない。したがって、薬剤の効果もさることながら使用方法が結果に影響を与えた可能性がある。次亜塩素酸水を浸した清拭シートは上市されていないが、自施設で次亜塩素酸水シートを作成し、次亜シートと同様の清拭法で殺菌効果を比較検討する必要があると考えられる。最後に、n数が10件と少なく、さらなるデータ検証が必要である。

V 結論

シーエルファイン®とセイフキープともに消毒後のコロニー数は同程度だったが、時間が経過するとコロニー数に違いを認めた。次亜塩素酸水は殺菌と静菌の二面的消毒効果に優れていることが示唆された。条件によっては、微生物は消毒後も人工呼吸器表面で生存や増殖し得ることが明らかとなった。人工呼吸器を介した感染予防のためには、消毒してからある一定期間が経過した人工呼吸器は使用前に再度、消毒薬で清拭する必要があると考える。

本稿のすべての著者には規定されたCOIはない。

本稿の要旨は、第46回日本呼吸療法医学会学術集会（2024年、山形）において発表した。

参考文献

- 1) Tojo K, Sagehashi N, Watabiki R, et al : Investigation into performance of 2 - μ m diameter microfiber cloth in removing feline enteric coronavirus (FECoV). 医学と薬学. 2022 ; 79 : 1367-77.
- 2) 細川翔太, 歌川 静, 田中光ほか : DCS-100NXの部位別, 清拭種類の違いによるRLU値の検討. 日本血液浄化技術学会雑誌. 2016 ; 24 : 390-2.
- 3) Morikane K, Suzuki S, Yoshioka J, et al : Clinical and microbiological effect of pulsed xenon ultraviolet disinfection to reduce multidrug-resistant organisms in the intensive care unit in a Japanese hospital : a before-after study. BMC Infectious Diseases. 2020 ; 20 : 82.
- 4) 古畑貞彦, 浦田浩一, 西村チエ子ほか : オゾン消毒殺菌法を用いた保育器の殺菌試験. 日本手術医学会誌. 2004 ; 25 : 212-4.
- 5) 内田久美子, 福澤誠克, 河合 隆ほか : 内視鏡検査室での次亜塩素酸水の空間噴霧による空間洗浄度の評価. Progress of Digestive Endoscopy. 2021 ; 100 (suppl) : S83.
- 6) 吉岡 淳, 森兼啓太, 西本千尋ほか : 新たに開発したUVC照射センサによる高性能紫外線消毒装置の照射強度に関する研究. 医療機器学. 2021 ; 91 : 439-48.
- 7) 山本美枝, 氏原理香, 黒原靖子 : オゾンによる手術室内殺菌の検討. 日本手術医学会誌. 1998 ; 19 : 451-3.
- 8) 高塚 威 : 電解法による次亜塩素酸水の生成と応用. 空気清浄. 2021 ; 58 : 246-52.
- 9) Fukuzaki S : Mechanism of actions of hypochlorous acid as cleaning and disinfecting agents in relation to injury to bacteria. Jpn J Food Microbiol. 2009 ; 26 : 76-80.
- 10) 経済産業省 : 新型コロナウイルスに有効な消毒・除菌方法. https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/syoudoku_00001.html (2024年8月22日閲覧)
- 11) 斎藤佳菜子, 本間和代 : 手指消毒方法の違いによる微生物コロニー数の変化. 明倫短期大学紀要. 2015 ; 18 : 40-7.
- 12) 中村伸吾, 鑿原征宏, 福田孝一ほか : 細菌・ウイルス等微生物に対する次亜塩素酸水の効果とその活用. 防疫大誌. 2017 ; 42 : 8-14.
- 13) 須賀里香, 三宅美由, 田村正徳ほか : 保育器清拭・洗浄マニュアル作成のための清拭素材の検討. 日本新生児育成医学会雑誌. 2016 ; 28 (suppl) : 599.
- 14) 松浦かず, 宇田千春, 山田陽子ほか : 使用後の保育器清掃方法の違いによる細菌数の比較. 日本新生児看護学会学術集会. 2015 ; 25 (suppl) : 191.
- 15) 唐鎌美穂, 原田純子, 古川秀子 : マイクロファイバー素材クリーニングクロスによる保育器の清拭効果の検討 第2報～シリコン樹脂部分に対する次亜塩素酸ナトリウムによる消毒とトレシー (R) 清拭の効果の比較～. 日本新生児看護学会学術集会. 2015 ; 25 (suppl) : 111.
- 16) Kramer A, Schwebke I, Kampf G, et al : How long do nosocomial pathogens persist on inanimate surfaces? A systematic review. BMC Infect Dis. 2006 ; 16 : 130.
- 17) 内閣府食品安全委員会農業専門調査 : 特定農薬評価書「電解次亜塩素酸水」. 2013年7月.
- 18) 厚生労働省医薬局食品保健部 : 食品衛生法施行規則及び食品、添加物等の規格基準の一部改正について. 2002年6月.
- 19) 鈴木大輔, 野澤康平, 米崎孝広ほか : 中性電解水で加湿した空気供給によるラット亜慢性吸入毒性. 実験動物と環境. 2013 ; 21 : 99-108.