

CT検査室における新型コロナウイルス対応除菌装置の効果について ～インフルエンザウイルスおよび一般生菌を用いての検証～

*Effect of COVID-19 compatible sterilizer in CT laboratory
-Verification using influenza virus and general viable bacteria-*

加藤 京一¹⁾, 坪井 友紀²⁾, 大澤 三和¹⁾, 高橋 利喜夫³⁾, 有藤 忠義⁴⁾, 上野 高史⁵⁾, 佐藤 久弥¹⁾

1) 昭和大学大学院 保健医療学研究科
2) 昭和大学藤が丘病院
3) アールゼロワン株式会社 (企業)
4) 寿テクノス株式会社 (企業)
5) 社会医療法人大成会 福岡記念病院 (医師)

Key words: CT laboratory, ultraviolet rays, ozone, Bacterial and viral inactivation

【Abstract】

[Purpose] After confirming the inactivation of the virus attached to the HEPA filter, the inactivation of bacteria and virus by ultraviolet rays and ozone of the coronavirus-compatible indoor space sterilizer was measured in the laboratory, and its effectiveness in the actual laboratory. To verify. [Method] 1. The virus status was confirmed by the LAMP method for the pre-filter of air partition. 2. An inactivating effect test against floating influenza virus was conducted. 3. We conducted an inactivation effect test against adherent influenza virus. 4. We investigated the effect of Super Bio clean on the wiping test in the CT laboratory. [Results] Virus activation was observed at the inhalation port of the HEPA filter. The UV-C of this device reduced the virus by 99% in about 15 minutes, and the reduction rate of ozone was 96% in 60 minutes. In addition, the effect of reducing bacteria was confirmed in the CT laboratory. [Conclusion] UV-C, a coronavirus-compatible indoor space sterilizer, reduced the virus by 99% in about 15 minutes and was effective in inactivating the virus. In addition, ozone decreased by 96% in 60 minutes, which proved to be effective against deposits and proved to be effective against virus inactivation of the device.

【要 旨】

【目的】 COVID-19対応除菌装置の紫外線 (UV-C) とオゾン (O₃) による細菌とウイルス不活化について測定し、有効性を検証する。【方法】 1. HEPAフィルターのウイルスの状態を確認した。2. 浮遊ウイルスに対する不活化効果試験を行った。3. 付着ウイルスに対する不活化効果試験を行った。4. CT検査室でふき取り調査を行った。【結果】HEPAフィルターの吸入口でウイルスの活性化を認めた。UV-Cでは15分程度で99%減少、オゾンでは60分で96%減少した。またCT検査室において細菌の減少効果が確認できた。【結論】本装置のUV-Cはウイルスの不活化に有効であった。またオゾンは付着物に対し有効であることが明らかとなり、ウイルス不活化に対し有効性が証明された。

緒 言

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) とは、新型コロナウイルス (SARS-CoV-2) による感染症である。2019年12月に中国で初めて報告され、今もなお世界的な流行を見せている¹⁻³⁾。

新型コロナウイルスは、発症の2日前から発症後7～10日間程度は他の人に感染させる可能性があるとい

われている。特に、発症直前や直後がもっともウイルス排出量が多く、感染のリスクが高まる。

本測定は、コロナウイルス対策に対して開発されたコロナウイルス対応室内空間除菌装置 (以下、除菌装置) について、細菌およびウイルスの不活化についての検証である。

室内空間に浮遊する菌、構造物や設備に付着した病原菌を滅菌することで、人への感染リスクを回避することが重要となる。紫外線UV-C波とオゾン (O₃) は、病原体に及ぼすそれぞれの特徴的な無害化方法を組み合わせることによって、短時間で最大の除菌効果を引き出す。紫外線UV-C波は、病原体の核のDNAを破壊することによって自己増殖の阻止を目的とし、特にウイルスの不活化に著しく効果を発揮する。オゾンは、不安定な活性酸素Oの強い酸化力によって、病原体そのものを死滅させる。特に細菌 (バクテリア) および真菌 (カビ) の殺菌に著しく効果を発揮する⁴⁾。

人体や環境に対する影響と対策として、紫外線

KATO Kyoichi¹⁾, Tsuboi Yuki²⁾, Oosawa Miwa¹⁾, Takahashi Rikio³⁾, Arito Tadayoshi⁴⁾, Ueno Takafumi⁵⁾, Sato Hisaya¹⁾

- 1) SHOWA University Graduate School of HEALTH SCIENCES
- 2) SHOWA University Fujigaoka Hospital
- 3) R-01 Company Limited
- 4) Kotobuki Technos Company Limited
- 5) Fukuoka Kinen Hospital

Received May 8, 2022; accepted September 14, 2022

UV-C波（波長254nm）は、地球上では成層圏のオゾン層で大部分がブロックされ、ほとんど存在しない紫外線であり、皮膚癌を発症するなど危険な非可視光である⁵⁾。従って本装置では、直視できないようケーシング内に設置し光源を遮蔽している。

紫外線オゾン（O₃）（波長185nm）によって作られた活性酸素の強い酸化作用は、空気中のオゾン濃度によって、ヒトを含む動物や病原体に多大な影響を及ぼす。また空気中の水分や他の物質と反応し、脱臭、脱色、材質の機能劣化が発生することもあり、目的に合致した濃度管理には十分な注意が必要である。従って本装置では、設置した面積に対して必要な時間を、タイマー制御により自動運転で行う。

また環境への影響については、UV-C波、紫外線オゾン、気化水銀を充填した石英ガラスランプ中に放電された電子によって作られた紫外線、その波長をスクリーニングして目的に合わせて取り出したものであり、大気に放出されると太陽光下で無害化する。

本研究では、現在、市販されているHigh Efficiency Particulate Air (HEPA) フィルターにおけるウイルスの状況を確認した上で、除菌装置の紫外線（UV-C波）とオゾン（O₃）による細菌およびウイルス不活化について実験室で測定し、最後に実際の検査室におけるその有効性について検証を行うことを目的とする。

方法1. エアパーティションのプレフィルターPCR調査

新型コロナ陽性患者収容病室に設置していたHEPAフィルター付きパーティションのプレフィルターの表面、およびプレフィルターを外して内部のファン表面のLoop-mediated Isothermal Amplification (LAMP) 法を実施した (Fig.1)。

型式はACP-897CH（汚染除去仕様）、メインフィ

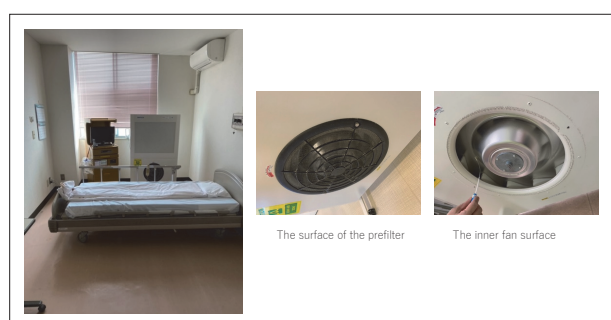


Fig.1 Measurement of an air partition filter

ルターはHEPAフィルター、プレフィルターはサラネット加工品である。プレフィルターは気流の吸込口にあるフィルターで、比較的大きいゴミやホコリを取り、HEPAフィルターへの負荷を抑える役割がある。

方法2. 浮遊インフルエンザウイルスに対する不活化効果試験

25m³空間において、インフルエンザウイルスを噴霧した状態で、試験資材を使用したとき（UV-Cのみ）のウイルス不活化効果を確認するために実施した。

1. 試験資材

スーパーバイオクリーン「SBC110-Ⅲ 200V」®（寿テクノス）

2. 供試ウイルス

インフルエンザウイルス：swine influenza virus
H1N1 IOWA株

培養細胞：MDCK細胞（イヌ腎臓由来株化細胞）

3. 試験設計 (Table 1)

Table 1 Test design

Distinction	Conditions	Time of measurement
Subject	No processing	0, 30, 60 minutes
Test plot	Only UV-C	0, 30, 60 minutes

4. 試験方法

1) 条件

試験チャンバー：約25m³の密閉系チャンバー

試験資材設置位置：壁際、約1.5mの高さ

ウイルス液の噴霧方法：ネブライザー

浮遊ウイルスの捕集方法：試験チャンバー中央付近の床上1.2mの位置からインピンジャーを用いて回収した。

試験チャンバー内の温湿度：20±5℃，40±10%

2) ウイルス液の調製

発育鶏卵で培養し、得られたウイルス液を滅菌精製水で懸濁したものを試験ウイルス液とした。

3) ウイルス液の噴霧

ネブライザーにウイルス液5mLを入れたものを4台用意し、20分間噴霧した。同時に攪拌用ファンを稼働させた。

なお、攪拌用ファンについては、噴霧終了後2分間まで稼働させた。

4) 浮遊ウイルスの回収

噴霧終了後2分間の攪拌直後に、細胞維持培地10mLを入れたミゼットインピンジャーを用い、10L/minの流量で5分間、試験チャンバー内の空気を回収し、0分の回収液とした。

その後、15分、30分および60分についても同様に、試験チャンバー内の空気を回収し、それぞれ回収液を得た。

5) ウイルス感染価の測定

得られた回収液を10倍段階希釈し、96wellプレートに培養したMDCK細胞に100μLずつ接種した。37℃、5%CO₂下で5日間培養した後、培養細胞を顕微鏡観察し、培養細胞に現れるCPE（細胞変性効果）をもってウイルス増殖の有無を確認し、ウイルス回収液におけるウイルス感染価を算出した。

6) 減少率の算出

得られた結果から、以下の式を用いて各時点での減少率を算出した。

$$\begin{aligned} \text{対数減少値} &= 0 \text{ 分のウイルス感染価の対数値} - \text{各時点のウイルス感染価の対数値} \\ \text{正味の対数減少値} &= \text{試験区の対数減少値} - \text{対照区の対数減少値} \\ \text{減少率 (\%)} &= (1 - 1/10^{\text{正味の対数減少値}}) \times 100 \end{aligned}$$

方法3. 付着インフルエンザウイルスに対する不活化効果試験

25m³空間において、付着インフルエンザウイルスに対し、試験資材を使用したとき（オゾンのみ）のウイルス不活化効果を確認するために実施した。

1. 試験資材

スーパーバイオクリーン「SBC110-Ⅲ 200V」®

2. 供試ウイルス

インフルエンザウイルス：swine influenza virus
H1N1 IOWA株

培養細胞：MDCK細胞（イヌ腎臓由来株化細胞）

3. 試験設計（Table 2）

Table 2 Test design

Distinction	Conditions	Time of measurement
Subject	No processing	0, 30, 60 minutes
Test plot	Only ozone operates	0, 30, 60 minutes

4. 試験方法

1) 条件

試験チャンバー：約25m³の密閉系チャンバー

試験資材設置位置：壁際、約1.5mの高さ

ウイルス液の付着方法：プラスチックシャーレ

付着ウイルスの回収方法：細胞維持培地による洗い出し

試験チャンバー内の温湿度：20±5℃、40±10%

2) ウイルス液の調製

発育鶏卵で培養し、得られたウイルス液を滅菌精製水で懸濁したものを試験ウイルス液とした。

3) ウイルス付着シャーレの作製および設置

ウイルス液0.1mLをプラスチックシャーレに滴下し、マイクロチップの先端で塗り広げ、20分間乾燥させたものを供試した。

作製したウイルス付着シャーレを、試験資材から1.5m以上の垂直線上で、床上1.2mの位置に全ての時点分、設置した。

4) 付着ウイルスの回収

試験資材稼働前に0分のシャーレを回収し、1mLの細胞維持培地で洗い出し、回収液を得た。試験資材稼働後30分および60分についても同様に、シャーレを回収し、それぞれ回収液を得た。

5) ウイルス感染価の測定

得られた回収液を10倍段階希釈し、96wellプレートに培養したMDCK細胞に100μLずつ接種した。37℃、5%CO₂下で5日間培養した後、培養細胞を顕微鏡観察し、培養細胞に現れるCPE（細胞変性効果）をもってウイルス増殖の有無を確認し、ウイルス回収液におけるウイルス感染価を算出した。

6) 減少率の算出

得られた結果から、以下の式を用いて各時点での減少率を算出した。

$$\begin{aligned} \text{対数減少値} &= 0 \text{ 分のウイルス感染価の対数値} - \text{各時点のウイルス感染価の対数値} \\ \text{正味の対数減少値} &= \text{試験区の対数減少値} - \text{対照区の対数減少値} \\ \text{減少率 (\%)} &= (1 - 1/10^{\text{正味の対数減少値}}) \times 100 \end{aligned}$$

方法4. 臨床現場のふき取り検査（一般生菌）におけるスーパーバイオクリーンの効果について

スーパーバイオクリーンのUV-Cおよびオゾンの効

果を確認した。

- 1) CT検査室における一般生菌をFig.2, 3, 4に示す位置から採取した。採取方法は、UV-Cを検査中5日間稼働させて5日目の検査終了に一般生菌の採取を行った。さらに翌週、同じ状況下で2回目の採取を行った。

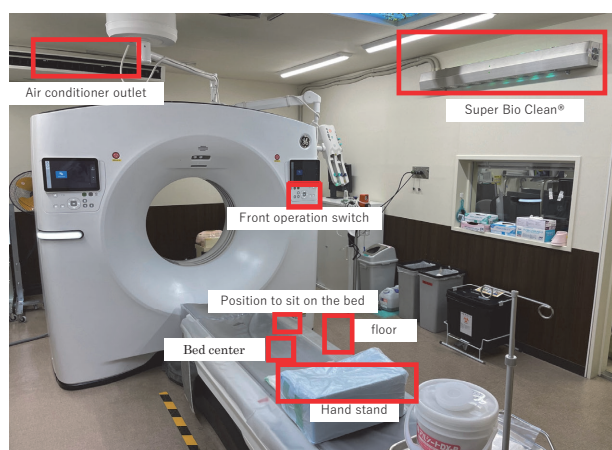


Fig.2 Collection location of general viable bacteria (Position where cleaning is performed between inspections)

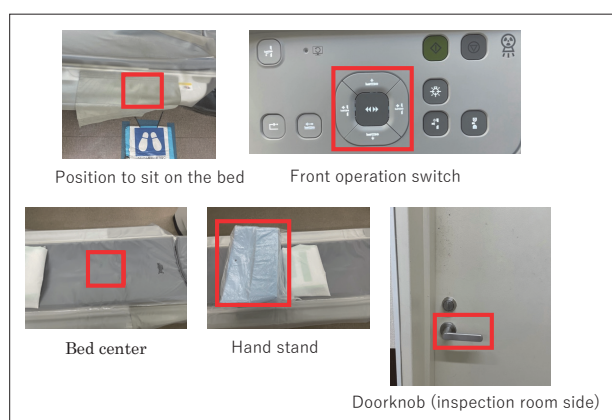


Fig.3 Collection location of general viable bacteria (Position where cleaning is performed between inspections)

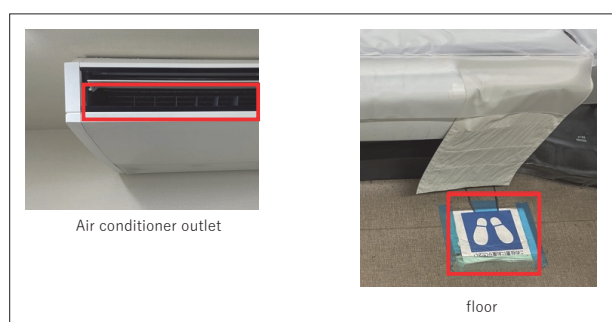


Fig.4 Collection location of general viable bacteria (Position where cleaning is not performed between inspections)

- 2) オゾンの効果を評価するために、UV-Cを検査中5日間稼働させて5日目の検査終了後、60分間オゾンを稼働させた。そして停止60分後、UV-Cの評価で採取した同様の位置から一般生菌の採取を行った。オゾンの評価もUV-C同様2回行った。またUV-Cおよびオゾンの効果は、それぞれの2回採取の平均値を比較した。

結果1

LAMP法での測定結果は、プレフィルター表面は陰性だったのに対し、内部のファン表面は陽性となった (Fig.5)。

結果2

試験結果をTable 3およびFig.6に示した。

対照区では、試験開始時 (0分) から試験開始後60分までの間に、一定の自然減衰が認められた ($10^{4.1}$ TCID₅₀/mL $\sim$ $10^{3.1}$ TCID₅₀/mLまで減少)。

一方、試験区では試験開始時に $10^{3.9}$ TCID₅₀/mLであったウイルス感染価は、15分には $10^{1.7}$ TCID₅₀/mL (減少率99.0%) となり、30分以降は検出限界未満 ($10^{1.5}$ TCID₅₀/mL未満) となった。

以上より、25m³の空間で試験資材であるスーパーバイオクリーン「SBC110-Ⅲ 200V」をUV-Cのみ稼働させた場合、稼働後15分で、浮遊インフルエンザウイルスを99%不活化する効果があると考えられた。

結果3

試験結果をTable 4およびFig.7に示した。

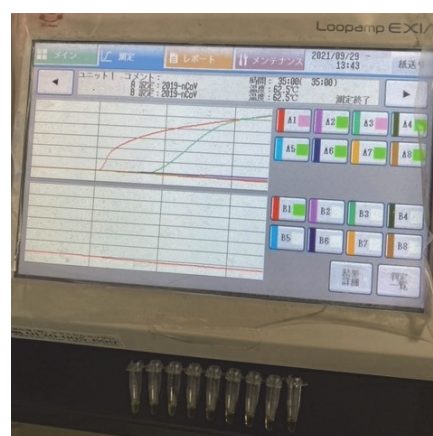


Fig.5 Results by the LAMP method

Table 3 Test results

Distinction	Conditions	Virus infectious value (TCID ₅₀ /mL)			
		0分	15分	30分	60分
Subject	No processing	10 ^{4.1}	10 ^{3.9}	10 ^{3.5}	10 ^{3.1}
Test plot	Only UV-C	10 ^{3.9}	10 ^{1.7}	< 10 ^{1.5}	< 10 ^{1.5}
Decrease rate		—	99.0%	> 98.4%	> 96.0%

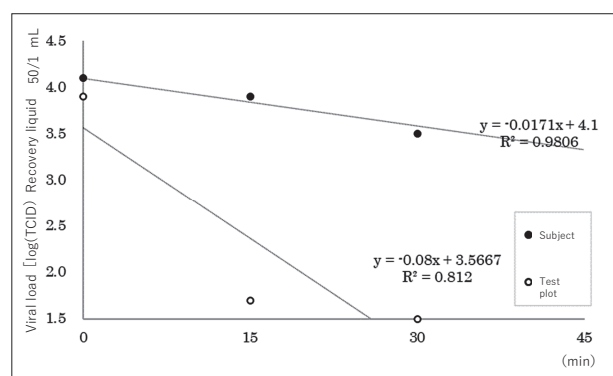


Fig.6 Changes in viral load of each Distinction

Table 4 Test results

Distinction	Conditions	Virus infectious value (TCID ₅₀ /mL)		
		0 minutes	30 minutes	60 minutes
Subject	No processing	10 ^{8.5}	10 ^{6.1}	10 ^{4.9}
Test plot	Only ozone operates	10 ^{8.7}	10 ^{6.1}	10 ^{3.7}
Decrease rate		—	36.9%	96.0%

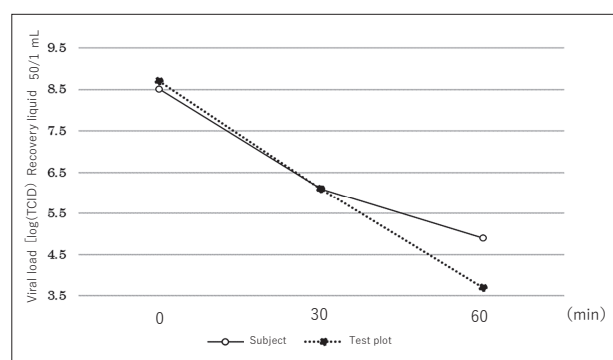


Fig.7 Changes in viral load of each Distinction

対照区では、試験開始時（0分）から試験開始後60分までの間に、一定の自然減衰が認められた（10^{8.5} TCID₅₀/mL～10^{4.9} TCID₅₀/mLまで減少）。一方、試験区では試験開始時に10^{8.7} TCID₅₀/mLであったウイルス感染価は、30分では対照区と同程度の10^{6.1}

TCID₅₀/mLであり、60分には10^{3.7} TCID₅₀/mL（減少率96.0%）となった。

以上より、25m³の空間で試験資材であるスーパーバイオクリーン「SBC110-Ⅲ 200V」をオゾンのみ稼働させた場合、稼働後60分で、付着インフルエンザウイルスを96%不活化させる可能性が示唆された。

結果4

検査と検査の合間に清拭を行っている位置から一般生菌の採取された結果をFig.8に示す。また検査と検査の合間に清拭を行っていない位置から一般生菌の採取された結果をFig.9に示す。

UV-CのみとUV-C + オゾンの比較では、全ての採取場所において、UV-C + オゾンの方が一般生菌は減少した。また床における一般生菌の採取を見ると、UV-Cのみに比べUV-C + オゾンでは約8.5倍の効果が得られた。

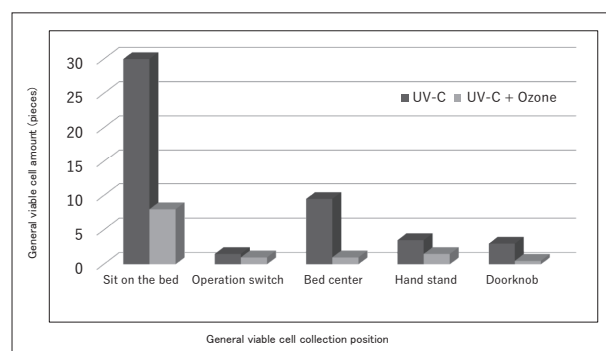


Fig.8 At the position where cleaning is performed between inspections
Comparison of general viable cell content of UV-C and UV-C + ozone

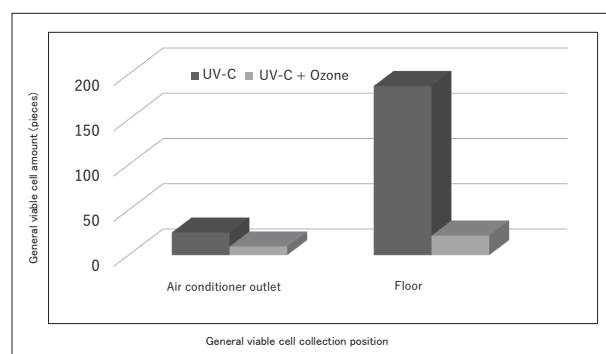


Fig.9 In a position where cleaning is not performed between inspections
Comparison of general viable cell content of UV-C and UV-C + ozone

考 察

エアパーティションのプレフィルターのLAMP法での測定結果で、ウイルスの死滅は不明であったのは、プレフィルターを通して入ってきた気流は、HEPAフィルターで清浄化されて吹出口から出るため、HEPAフィルターの表面からも陽性反応が出ると考えられる。

密室空間における測定からは、25m³の空間で試験資材であるスーパーバイオクリーン「SBC110-Ⅲ 200V」をUV-Cのみ稼働させた場合、稼働後15分で、浮遊インフルエンザウイルスを99%不活化する効果があると考えられた。

当院における当該感染患者を検査・治療した検査室の清掃・清拭のルールは、患者・術者が触れた寝台やドアノブなどは、次亜塩素酸ナトリウムペーパータオルを使用し清拭することになっている。また装置の操作スイッチや操作パネルも拭き上げる。またモニター・操作室ドア・検査室内物品棚・検査室入室扉など、検査室全体を養生シートで覆うこととしている。この作業はとても手間のかかる作業となっている。

本除菌装置の設置されているCT検査室は、1日平均して45件程度の検査を実施している。検査を受ける患者間の感染を防止するため、検査と検査の合間で装置の清拭を行っている。そのため採取された一般生菌量が少ない状況であったことが考えられるが、装置を清拭しながらUV-Cを検査中稼働させて運用していたことで、一般生菌の増殖が抑えられていたとも考えられる。

エアコンの吹き出し口や床は、検査と検査の合間で清拭などの感染防止対策は行っていない。

エアコンの清掃は、1.5カ月に1度実施し、床の清掃は、1日1回検査終了後に行っている。

特にエアコンのような、数カ月単位で清掃を行うような器具がある部屋などには、UV-C + オゾンの効果は大きいと考える。また今回、床の清掃前にオゾン稼働させて一般生菌量の評価を行った。オゾンを稼働させることで、床の清掃と同等もしくはそれ以上の効果が得られる可能性があると考えられる。それは、床の清掃では不潔エリアを拡散してしまう可能性があるが、オゾンにおける不活化効果を利用することで、不潔エリアを拡散することなく清掃が行えることが考えられる。以上のことから、UV-C + オゾンの機能を有する本除菌装置は、臨床においても有効であると考えられる。

結 論

今回開発されたコロナウイルス対応室内空間除菌装置のUV-Cは、15分程度でインフルエンザウイルスを99%減少させ、ウイルスの不活化には有効であった。またオゾンは60分で減少率が96%であったため、付着物に対し有効であることが明らかとなった。またCT検査室においても不活効果が得られ、ウイルス不活化に対し有効性が証明され、より安全なウイルス感染対策が可能であることが示唆された。

利益相反

共著者の1人は寿テクノス株式会社に所属する社員である。

表の説明

Table 1	試験設計
Table 2	試験設計
Table 3	試験結果
Table 4	試験結果

図の説明

Fig.1	エアパーティションフィルターの測定
Fig.2	一般生菌の採取位置（検査と検査の合間に清拭を行っている位置）
Fig.3	一般生菌の採取位置（検査と検査の合間に清拭を行っている位置）
Fig.4	一般生菌の採取位置（検査と検査の合間に清拭を行っていない位置）
Fig.5	LAMP法での結果
Fig.6	各区のウイルス感染価の推移
Fig.7	各区のウイルス感染価の推移
Fig.8	検査と検査の合間に清拭を行っている位置におけるUV-CとUV-C+オゾンの一般生菌量の比較
Fig.9	検査と検査の合間に清拭を行っていない位置におけるUV-CとUV-C+オゾンの一般生菌量の比較

参考文献

- 1) C. Xie, H. Zao, K. Li, et al.: The evidence of indirect transmission of SARS-CoV-2 reported in Guangzhou, China. BMC Public Health, 20, Article number: 1202, 2020. <https://bmcpublihealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-020-09296-y> (参照2022-02-08)
- 2) S. H. Bae, H. Shin, H-Y. Koo, et al.: Asymptomatic transmission of SARS-CoV-2 on evacuation flight. Nov, 26 (11), p.705-2708, 2020.
- 3) 国立感染症研究所 <https://www.niid.go.jp/niid/ja/2019-ncov/2484-idsc/10754-2021-41-10-11-10-17-10-19.html> (参照2022-02-08)
- 4) 一般社団法人日本照明工業会：UV-C安全ガイドライン https://www.jlma.or.jp/anzen/covid-19/pdf/GLA_UV-C_Safety_Position_Statement_japanese.pdf (参照2022-02-08)
- 5) 池畑 昭：オゾンによる殺菌, 医科器械学, 57 (3), p.109-116, 1987.