

熱-湿度による N95 マスクの再使用のためのリスク管理についての技術レポート Technical Report for Heat-Humidity-Based N95 Reuse Risk Management¹

N95 マスク（訳注：N95 規格の使い捨てタイプの呼吸用保護具、N95 filtering facepiece respirator、N95 FFRs、本技術レポートでは主に「N95 FFRs」という。）の除染に関する文献の多くは、SARS-CoV-2 アウトブレイクによる N95 FFRs の不足を解消するため、ごく最近に行われたものがほとんどである。このため、本書で引用する研究には、まだ査読を受けていないものがある。**本報告書では、明確にするために、査読を受けていない研究結果を引用する場合は、著者の名前の前に "*"を付した。**

レポート v2.0 の更新の概要: N95 FFRs の信頼性に対する熱の影響、液体媒体中での SARS-CoV-2 の不活化、および 1) 乾燥熱、2) オートクレーブ、および 3) マイクロ波発生蒸気を用いた N95 FFRs 上の SARS-CoV-2 の不活化に関する新しい研究など、最近の文献の追加を反映して更新した。N95 FFRs 上の SARS-CoV-2 の不活化に必要なレベルとして、FDA はウイルス活性の 1/1000 (≥ 3 -log) 以下の減少を提案している (*Fischer et al., 2020; FDA, 2020)。最近の重要な知見は、70°Cでの 30 分間の乾燥熱は、この提案を満たすのに十分ではないことを示している。また、熱および湿度適用の安定性および均質性を確保するための可能な妥当性検証についての短い議論も掲載した。

Executive Summary

熱と湿度の組み合わせはしばしば湿熱とも呼ばれ、表面上および容積のある媒体中のいくつかの病原体を不活化するための既知の方法である。最近では、湿熱は、N95 フィルタリングフェイスピースレスピレーター（N95 FFRs ; 「N95 マスク」とも呼ばれる）の除染のための最も有望な方法の一つとして、疾病管理センター（CDC）により認識されている。本報告では、コロナウイルス疾患 2019（COVID-19）の原因となる新型コロナウイルスである SARS-CoV-2 および関連ウイルスを含む N95 FFRs の除染に関する利用可能な文献をレビューする。さらに、加湿熱の反復サイクルが、N95 FFRs の濾過およびフィットの信頼性に与える影響についての文献をレビューする。現在利用可能なデータに基づけば、湿熱ウイルス不活化の有効性は、1) 温度、2) 湿度、3) 曝露の持続時間、および 4) 局所環境（表面、マスク繊維、汚染媒体—例えば粘液または唾液）に非常に敏感であることが明らかである。これらのデータは、N95 FFRs 上で SARS-CoV-2 を不活化するための有望な条件を示しているが、その条件には温度 70~85°C、湿度 50~85%、処理時間 60 分以上が含まれる。加熱装置は非常に変化しやすいため、温度と湿度は正しく調整して監視する必要がある。さらに、オートクレーブとマイクロ波発生蒸気による N95 の除染についても検討した。これらの方法はいくつかの有望な点を示しているが、いずれの方法についても明確な結論を出すには、よ

¹Translated to Japanese from N95Decon Research Document. Not Peer Reviewed. Version 2.0, 4/23/2020.

https://static1.squarespace.com/static/5e8126f89327941b9453eeef/t/5ea25d8b4965f32f414d974c/1587699083786/2020-04-23_N95DECON_Heat_Technical_Report_v2.0_final.pdf

り多くのデータが必要である。

1 概要

コロナウイルス疾患 2019 (COVID-19) の原因となる新型コロナウイルス (SARS-CoV-2) により、N95 ろ過型フェイスピースレスピレーター (FFR) が世界的に不足している。本稿では、COVID-19 パンデミック時に医療従事者が着用する N95 FFRs (いわゆる「N95 マスク」) の耐用期間を延ばすことを目的として、除染するための熱および湿度による N95 FFRs の除染方法を検討した。効果的な除染を行うためには、SARS-CoV-2 ウイルスを不活化し、二次重汚染のリスクを最小限に抑えつつ、N95 FFR のフィット性やろ過効率を維持することが必要である。我々は、熱による SARS-CoV-2 の不活化に関する報告を調査した。コロナウイルスの熱と湿度に対する感受性を N95 FFRs で広範囲に検証した研究はほとんどないため、インフルエンザのパンデミックを想定して開発された手順についても検討した。インフルエンザは、SARS-CoV-2 の近縁種ではないが、別の呼吸器ウイルスであり、分節一本鎖 RNA ゲノムと脂質エンベロープを持つ。

報告が増えるにつれ、以下のことが次第に明らかになってきた。SARS-CoV-2 および関連する病原体は熱による不活化されやすいが、この不活化に必要な条件は、1) 温度、2) 湿度、3) 曝露時間、および 4) 局所環境 (表面、マスク繊維、実験条件で使用される媒体) に非常に敏感であることが様々な文献より報告されている。処理時間 60 分、温度 70°C、湿度を加えない場合 (乾燥した状態で)、SARS-CoV-2 が少なくとも 3.3-log (約 1/2000) 不活化されることを示すデータがあるが、その未査読論文におけるウイルスの局所環境は、N95 FFR がおかれている臨床環境を再現しているとはいえない (*Fischer et al., 2020)。インフルエンザ H1N1 より得られた既存のデータは、高湿度であれば、類似の (エンベロープを持つ) ウイルスを不活化できることを示唆している (McDevitt et al., 2010)。また、最近の未査読論文では、複数の種類の N95 FFR が、適切な性能を維持しながら、75~85°C、相対湿度 60~90% で 30 分間の除染を、5 サイクル耐えられることが明らかにされている (*Anderegg et al., 2020; *Massey et al., 2020)。これらの知見により、N95 FFR 上での SARS-CoV-2 不活化のための最も有望な条件は、**温度 70~85°C、相対湿度 50%以上、60 分以上**であることが示唆されている。N95 FFR のフィット性やろ過の信頼性も維持できるのであれば、より高い温度とより長い加熱時間が、より効果的な除染につながるということが認められている。有意に評価できる条件の一例として例えば、**低湿度で短時間か又は高温や、同じように高湿度で長時間か又は低温により十分にウイルス不活化が可能なのか**、調査すべきである。唾液粘液様物質は、ウイルス不活化の阻害をしようため、唾液や粘液を再現するような媒体を用いた更なる研究が必要とされる (Darnell et al., 2004; Darnell & Taylor, 2006; Rabenau et al., 2005)。金属表面上での 70°C 加熱による SARS-CoV-2 不活化に関する研究では、60 分間加熱しても乾熱では不活化が不十分になることを示しており (*Fischer et al., 2020)、液体消毒剤 (金属用) を用いた N95 FFR 上の金属製ノーズピースの別途追加的な除染が望ましいだろう。

なお一層の SARS-CoV-2 の研究が、実際に有効な最低限の十分条件を決定するために必要である。

更にまた、加熱の反復が FFR に与えるダメージについての文献レビューも行った。これらの研究が示す様に、異なる製品や異なる N95 FFR モデルは、様々なウイルス不活化条件下において、異なるレベルの丈夫さを示す。したがって、実施に際しては、全ての場合で、(マスク) 製品やモデルに応じたウイルス不活化プロトコルが考慮されるべきであ

る。(**セクション 4** と **表 2** の要約を参照のこと)。本要約は、SARS-CoV-2 パンデミック下の、この緊急を要する時期に、医療専門家および意思決定者に情報を提供することを意図している。

2 連邦によるガイダンスの状況

この前例のない COVID-19 パンデミックでは、N95 FFR の供給が限られているため、疾病対策予防センター (CDC) は、医療従事者が N95 FFR の延長使用または限定的な再使用を実践できるようなガイダンスを提供している (CDC, 2020a)。CDC はさらに、危機的状況下における N95 FFR の除染方法に関するガイダンスを、病院に向けて提供している (CDC, 2020b)。

労働安全衛生局 (OSHA) は、防護マスク使用時には化粧品やその他のバリアになるようなものを介在させてはならないとしている。(OSHA, n.d.)。緊急使用許可 (EUA) は、COVID-19 パンデミックの間における N95 FFR 除染のために FDA が承認したもののだが、これもまた、除染のために送付された防護マスクに化粧品が付着していないことを承認の条件として規定している (Battelle, 2020)。

CDC は、除染後、適切な密着性を確保するために、防護マスク着用の際に「ユーザーシールチェック」を行うことを推奨している (CDC, 2020b)。N95 防護マスクのフィット率は、繰り返す着脱により低下することが確認されているため、除染サイクル毎のユーザーシールチェックは特に重要である (Bergman et al., 2012)。

N95 FFR 除染 EUA のための FDA ガイドラインによると、ウイルスを殺す除染には、ウイルス活性の 3 -log 以上の減少 (99.9%の減少に相当) が必要である (FDA, 2020)。このガイドラインに基づき、我々は、ウイルス活性の 3 -log 以上の減少 (1/1000 以下に減少) をもたらす場合にのみ、処理を十分に「除染」または「不活性化」と記述する。**なお、本報告書における除染の定義は、特に指定がない限り、ウイルス活性のみを考慮し、真菌・細菌の死滅や芽胞の死滅については考慮していないことに留意されたい (FDA, 2020)。**なお、抗酸菌活性や芽胞活性については、FDA による別のガイドラインが存在する。**SARS-CoV-2 のための N95 FFR の除染処理は、必ずしも N95 FFR の滅菌 (すべての微生物の死滅) をもたらすものではない。**

現在のところ、N95 FFR の湿熱処理に関する FDA の EUA (緊急使用許可) はみられない。CDC が 2020 年 3 月 31 日に公開した N95 の除染と再利用に関するガイダンスでは、湿熱の使用を、危機的状況下での N95 呼吸用保護マスクの処理のための最も有望な方法の 1 つとして特定している (CDC, 2020b)。

いかなる新規の除染方法も、実施前には、(場合によっては FDA の取扱許可を含む) 組織の内部プロセスで検証されるべきである。なお、詳細については、定期的に更新される最新 CDC ガイドライン、および N95DECON の法的免責事項 (N95DECON's Full Legal Disclaimer) を参照のこと。

3 作用機序

飛沫内でのエンベロープを持つウイルスの不活化は、中等度の湿度下で強化されることが示されている。これは、飛沫体積が小さくなるものの完全には乾燥しないことで、飛沫の溶質 (この場合はエンベロープを持つウイルス) 濃度が上昇することによる (Lin & Marr, 2020; Vejerano & Marr, 2018)。SARS-CoV-2 の消毒方法に関するデータは現在のところ殆どなく、現時点では絶対的なベストプラクティスを特定することはできない。

実施に向けてこのプロトコルを改善するには、更なる研究が必要である。重要なこととして、熱と湿度は FFR 上の

すべての病原体を殺菌するわけではなく、クロストリジウム・ディフィシレ等の細菌芽胞が残留する可能性がある。特に、85℃・15 分間の曝露は、液体培地での増殖型クロストリジウム・ディフィシレの 4.5-log 以上の減少（約 1/30,000 の減少）をもたらしたが、加熱後半になると細菌芽胞は復活する能力を見せた。一方、63℃30 分間曝露では、生きた芽胞の生成は 50%減少したことが報告されている(Rodriguez-Palacios & LeJeune, 2011)。

4 SARS-CoV-2 の不活化と N95FFR の耐久性

以下に続く**セクション 4.1**、**セクション 4.2** では、加熱加湿処理による SARS-CoV-2 の不活化および N95 FFR 機能の信頼性に関する文献の要約と考察を行う。**セクション 4.3**、**セクション 4.4** では、特にオートクレーブおよび電子レンジによるスチーム（MGS: Microwave-oven Generated Steam）での処理について述べる。

4.1 SARS-CoV-2 不活化の可能性

溶液中の SARS-CoV-1 および SARS-CoV-2 は、熱によって不活化できる (>56℃で 30 分間、付録 A) というエビデンスがあるが、これは、特にウイルスが粘液または唾液飛沫中に存在する場合には、**N95 FFR の表面のウイルスの熱感受性には適用できないようである**。最近の未査読報告では、70℃・30 分間の乾熱は、N95 FFR 繊維上にある DMEM 培地中の SARS-CoV-2 を不活化するのに十分ではなかったことが示されている(*Fischer et al., 2020)。その研究では 1.9-log (約 1/80) の減少しか観察されなかったが、これは FDA によってウイルスに対して設定された 3-log の減少 (1/1000 に減少) という、最小限の不活化と承認されるためガイダンスを下回っている(FDA, 2020)。70℃・60 分間の乾熱は、N95 FFR 繊維上の SARS-CoV-2 を十分に不活化したが (> 3-log 減少(1/1000 減少))、接種に使用した培地の詳細は提供されておらず、実際のシナリオでウイルス粒子を（熱に対して）安定化することが示されているムチンまたは他のタンパク質を含んでいない可能性がある (Darnell et al., 2004; Darnell & Taylor, 2006; Rabenau et al., 2005)。DMEM は、これらのタンパク質を含まないが、ウイルス増殖培地として挙げられている。また、同研究では、70℃乾熱 60 分間は、ステンレス鋼表面上のウイルス濃度を 2-log (1/100) しか減少させなかったことが示されており(*Fischer et al., 2020)、このことは 70℃の乾熱では、（金属成分を含むことが多い）N95 FFRs を十分に除染できない可能性をさらに示している。したがって、**SARS-CoV-2 不活化のための、温度・時間・湿度の安全で有効な範囲を見つけるためには、異なる培地中のウイルスを用いての更なる研究が必要である**。他の最近の研究は、SARS-CoV-2 で汚染された N95 FFR は、121℃で 15 分間の標準的なオートクレーブ処理で十分に除染できることを示唆しているが、これらの条件を 1 回行った後にフィットテストで不適合になる N95 FFR モデルもあった(*Kumar et al., 2020)。オートクレーブ処理については、セクション 4.3 で詳細に議論するが、表面上のウイルス不活化についての論文は、後述の**表 1** で要約する。

上述の研究と比較しうる条件で、熱と湿度によるウイルスの不活化と、マスクのフィットとろ過に及ぼす影響の両方を同時に評価した研究は他には殆どないが、これらの温熱条件下での FFR 機能の結果は、**セクション 4.2** で述べる。

熱と湿度は、エンベロープを持つ他のウイルス (H1N1 および H5N1 インフルエンザ) を不活化するために、様々な N95 FFR (Heimbuch et al., 2011; Lore et al., 2012) や表面 (McDevitt et al., 2010) で用いられてきた。インフルエンザで汚染された N95 FFR は、60℃以上の温度と十分な湿度・曝露時間で適切に除染することができる (**表 1** 参照)。ある研究では、ステンレス鋼上の H1N1 の乾燥溶液において、温度または相対湿度のい

ずれかを上げると不活化がより効果的であるとの知見を得ている (McDevitt et al., 2010)。様々なウイルスサンプルを用いた複数の研究は、中等度～高相対湿度とウイルスの不活化効果との間の相関関係が示されているが、100%湿度では効果が低い可能性がある (Casanova et al., 2010; Prussin et al., 2018; Guan et al., 2017; Lin & Marr, 2020)。SARS-CoV-2 の熱不活化も、中高湿度レベルでより効率的になるという仮説が立てられているが、今の所、この仮説を支持する十分なデータはない。

4.2 N95 規格の使い捨てタイプの呼吸用保護具 (N95FFRs、N95 マスク) の信頼性

N95 FFR は単回使用の使い捨て呼吸用保護マスクとして用いられることを意図している。しかし、熱除染サイクルを複数回繰り返した後の N95 FFR の性能についての論文は存在する。それらを表 2 にまとめる。この表は、特定の N95 FFR モデルそれぞれについて、ろ過性能と定量的フィットテストの結果を一覧にしたものであり、湿熱処置下での N95 FFR の耐久性について最も関連する研究による。この研究の詳細な表は、調査したすべての文献と共に、付録 B に記した。

一般的な N95 FFR モデルの多くは、60℃相対湿度 80%30 分間の 1～3 回の処置を行っても、フィット性とろ過性能の両方を保持する (Bergman et al., 2010; Bergman et al., 2011; Viscusi et al., 2011)。モデルのいくつか (3M 8200, 3M 8511, and more) については、最近の研究で、75℃の乾熱 30 分間のサイクルを少なくとも 5 回行っても、フィットテストに合格することが示された (*Price et al., 2020)。また、最近の研究には、N95 FFR の濾材として使用されている生地ろ過効率は、高温 (75℃) 高湿度 (最大 100%) の条件下で 30 分間、最大 20 回、影響を受けないままであることを示すものもある (*Liao et al., 2020)。一般的に、利用可能なデータの傾向は、多くの一般的なモデルは 85℃までの温度と高相対湿度での数回の熱-湿度処理に耐えられる可能性があることを示唆している。しかし、複数回の反復処理やより高温での処理に関して、ろ過試験とフィットテストの両方での結果を持つデータは未だ限られている。温度 70℃以上、相対湿度 50%以上で 3 回以上の処理を行った後、定量的フィットテストとろ過試験に合格することが確認されているのは、わずか数モデル (3M 1860, 3M 8210, 3M 8210+) のみである (*Anderegg et al., 2020; *Massey et al., 2020; *3M, 2020)。高温に対する感受性は N95 FFR モデルによって異なり、あるモデルの耐久性の結果は必ずしも他のモデルに適用できない。温度および湿度が高いほど SARS-CoV-2 のより効果的な不活化につながる可能性が高いため、他の一般的な N95 FFR モデルについても、温度 >70℃および湿度 >50%での耐久性を調査することが必要である。様々な N95 FFR モデルの具体的なデータについては、表 2 を参照のこと。実施プロトコルは、現地で使用されている特定の N95 FFR モデルを用いてテストされるべきである。医療従事者がどのような種類の FFR を使用する場合でも、再使用前にユーザーシールチェックを行い、呼吸用保護マスクが顔面に適切に密着していることを確認することが重要である (Price & Chu, 2020)。最後に、N95 FFR 再使用のための重要な追加考慮事項として、数回の着脱によるフィット性の低下が、信頼性に対する主なリスクとなる。5 回の着脱でフィット性が許容できないほど低下した N95 FFR モデルもあれば、15 回以上の着脱でもフィット性が維持されたモデルもあった (Bergman et al., 2012)。

除染後の N95 FFR の信頼性を考慮するとき、サージカル N95 FFR (SN95 FFR とも略される) と非サージカル N95 FFR は明確に区別されるべきである。サージカルおよび非サージカル N95 FFR は、ろ過効率の NIOSH の認定を受けているが、サージカル N95 FFR はそれに加え、サージカルマスクとしての機能性、例えば、液体侵入保護の FDA の認定も受けている。サージカル N95 FFR が除染処置後もサージカルマスクとしての機能性を維持するかどうか

は、あまり研究されていない。サージカルと非サージカルの N95 FFR 製作に使用される材料は異なるため、熱処理下でのこれらの呼吸用防護マスクの信頼性は異なる可能性がある (Viscusi et al., 2009)。

4.3 オートクレーブ処置による ARS-CoV-2 の不活化と N95 FFR の信頼性

オートクレーブ処理は、アクセスが容易な医療機関での滅菌手段であり、N95 FFR の除染と再利用のために採用される可能性がある。オートクレーブ処理の下でこれらの呼吸用保護マスク上の SARS-CoV-2 の不活化に特化して検討した研究は殆どないが、少なくとも 1 つだけ未査読論文からの最新のエビデンスが、121°C15 分間のオートクレーブ処理で N95 FFR を効果的にウイルスの除染を行うことができると示唆している(*Kumar et al., 2020; 表 1 参照)。さらに、121°C30 分間のオートクレーブ処理は、医療現場では一般的な滅菌プロセスと考えられている (CDC, 2008)。

オートクレーブ処理による N95 FFR の耐久性に関する研究は一握りである。表 2 に示す現在入手可能なデータによると、オートクレーブ処理による影響は、それぞれの N95 FFR モデルに依存することが示されている。研究によれば、3 種の成形モデル ; 3M 1860, 3M 8000, および 3M 8210 は、1 回ないし 2 回のオートクレーブ処理で使用不可になるが、積層布モデルやプリーツモデル (たとえば 3M 1870 や 3M 1862+) は、10 回までのオートクレーブ処理に対して、機能的信頼性を維持できるかもしれない (Viscusi et al., 2007; *Kumar et al., 2020; van Straten et al., 2020)。これらの知見を補足するために、濾過試験を含む追加のオートクレーブ試験が必要である。より広く一般化すると、現在得られているデータは限られており、異なるモデルでの追加の研究が、オートクレーブ処理の N95 FFR 耐久性に与える影響の根本理解のため、必要である。この分野の実験研究は、現在進行形で行われている。

4.4 電子レンジスチーム処置による SARS-CoV-2 不活化と N95 FFR の信頼性

電子レンジスチーム (MGS) 処理による SARS-コロナウイルスの不活性化に関する文献は限られているが、インフルエンザ (H5N1 および H1N1) やバクテリオファージ MS2 を含む N95 FFR の除染について調査した研究では、MGS 処理が FFR 上のある種のウイルス除染のための有効な手段であることが示唆されている。これらの研究の要約を表 1 に示す。SARS-CoV-2 に対する研究は限られており、SARS-CoV-2 で汚染された N95 FFR の除染への MGS の有効性については、現在のところ評価できない。さらに、MGS 処理では、細菌芽胞を完全には不活性化できない場合や、追加の時間を必要とする場合があることに注意することが重要である。ある研究では、バチルス・セレウス芽胞が湿ったスポンジ上で完全に破壊されるためには、少なくとも 4 分間の電子レンジ処理が必要であると報告している (Park et al., 2006)。

表 2 に記載されている MGS 処理下での N95 FFR の耐久性に関する文献によると、3 回までの除染サイクルでは、内側にある鼻クッションフォームと締めひもなどの箇所で呼吸用防護マスクの損傷はあるものの、機能的信頼性への影響は殆どないことが示唆されている(Bergman et al., 2010; Bergman et al., 2011; Viscusi et al., 2011)。利用可能な研究は、現在のところ、少数回の反復除染に限定されているが、N95 FFR のろ過材として使用されるメルトブローン布に関する最近の試験では、電子レンジスチーム除染が 3 回を超えると、ろ過効率に悪影響を及ぼす可能性があることが示唆されている(*Liao et al., 2020)。さらに、上記のウイルス不活化研究で用いられた、1250W などの高出力な電子レンジ処理に対する N95 の信頼性に関するデータは不十分である。これらの研究の幅を広げ、3 回の除染サイクルを超えて N95 FFR の試験をおこなうことは、N95 FFR の耐久性に対する MGS の

影響を理解する上で有益であろう。

N95 除染の方法として MGS を評価する際には、異なる電子レンジモデル間での出力や配置のばらつきを考慮することも重要である。特に、1250W 以上の出力がマスクの信頼性に与える影響はあまり知られておらず、注意が必要である。多くの N95 FFR モデルの金属部品(例えば、ノーズピース)は、極端な高熱やスパークによる付加的リスクをもたらす可能性があるが、今までのところ、これまでの研究ではそのような影響は観察されていない(Bergman et al., 2010; Bergman et al., 201; Viscusi et al., 2011; Heimbuch et al., 2011)。N95 FFR は、スチームなしでは電子レンジで溶融することが示されており (Viscusi et al., 2009)、適切な方法でスチームを発生させるに注意が必要である。最後に、MGS 処理は、採用された特定のプロトコル (例えば、水入りの容器に置かれた場合とスチームバッグに入れた場合) によって異なるかもしれず、具体的な実施の際には、**表 1 および 2** で詳細を参照する必要がある。

5 データの要約表

表 1. 加熱加湿が N95FFR/表面上の SARS-CoV-2 と他ウイルスに与える影響

Strain(s) (medium, if known) 株種 (培地/検体, 報告のある 場合)	Surface 表面	Temp & RH (Method) 温度 & 相対湿度 (方法)	Time (min) 時間 (分)	Effectiveness (log reduction) 効果 (対数減少)	Refs. 文献
SARS-CoV-2	AO Safety N9504C (N95 fabric)	70°C, dry heat (oven)	30 60	1.9 (Insufficient: 不十分) >3.3	A
	Stainless steel 304 ステンレス鋼 304		60	2.0 (Insufficient: 不十分)	
SARS-CoV-2 (BSA ^b , tryptone, mucin) (BSA ^b , トリプトン, ムチ ン)	3M 1860 & 1870 3M Vflex 1804 AO Safety 1054	121°C, steam (autoclave)	15	≥4.6 ≥5.3 ≥5.6	B
Influenza H1N1 (mucin, aerosol and/or droplets) インフルエンザ H1N1 (ムチン, エアロゾル, 飛 沫)	3M 1860 3M 1870 KC PFR95-270 3M 8210 3M 8000 Moldex 2200	65 ± 5°C, 85% RH (oven)	30	>3.0-7.0 (FFR-dependent: FFR による)	C
		(1250W MGS ^a , water reservoir) (1250 W 電子レンジスチーム ^a , 水サーバー)	2	>3.3-6.3 (FFR-dependent: FFR による)	

Influenza H1N1 インフルエンザ H1N1	Stainless steel	60°C, 25% RH 60°C, 50% RH 60°C, 75% RH 65°C, 25% RH 65°C, 50% RH 65°C, 75% RH (oven)	30	1.5 (Insufficient: 不十分) >5.0 >5.2 2.2 (Insufficient: 不十分) >5.1 >5.1	D
Influenza H5N1 (aerosolized allantoic fluid) インフルエンザ H5N1 (エアロゾル化した尿膜腔液)	3M 1860 3M 1870	65°C, moist heat (oven)	30	>4.62 >4.65	E
	3M 1860s 3M 1870	(1250 W MGS ^a , water reservoir) (1250 W 電子レンジスチーム ^a , 水サーバー)	2	>4.81 >4.79	
Bacteriophage MS2 ^b (ATCC medium 271) バクテリオファージ MS2 ^b (ATCC 番号 271)	3M 1870 KC PFR95-270 Moldex 2200	(1100 W MGS ^a , in steam bag) (1100 W 電子レンジスチーム ^a , スチームバッグ利用)	1.5	3.1 3.45 ≥3.1	F

A: (*Fischer et al., 2020), B: (*Kumar et al., 2020), C: (Heimbuch et al., 2011), D: (McDevitt et al., 2010), E: (Lore et al., 2012), F: (Fisher et al., 2011)

- 電子レンジスチーム 表示出力は各電子レンジ固有のものであり、実際の出力は表示出力より小さい可能性がある
- ウシ血清アルブミン
- エンベロープを持たないウイルス; SARS-CoV-2 やインフルエンザより抵抗性が強い可能性あり

表 2. 加熱加温が N95 FFR 機能に与える影響

Model モデル	Temp. & Rel. Humidity (oven-based, 30 min cycles) 温度&相対湿度(オ ープン表示による, 30 分間)	# cycles filtration tested ろ過性能をテスト した際のサイクル 回数	# cycles fit tested フィットテストをし た際のサイクル 回数	Autoclave 121°C steam, 15 min オートクレーブ 121°C15分	MGS 1100 W ^c , 2 min 電子レンジ 1100W ^c , 2分	Refs. 文献
3M 1860	85°C, 60–85%	Passed ^a 5	Passed ^a 5	Failed after 1-2 cycles	Passed 3 cycles	A, B, C, D, E
3M 8210+	85°C, 60–85%	Passed 5	Passed 5	-	-	A
3M 1870	60°C, 80%	Passed 3	Passed 3 ^c	Fit passed 10 cycles (no filtration tests)	Passed 3 cycles	B, C, D

3M 8000	60°C, 80%	Passed 3	Passed 1	Failed after 1 cycle	Passed 1 cycle	C, E, L
Moldex 2200	60°C, 80%	Passed 3	Passed 1	-	Passed 1 cycle	C, L
KC PFR95-270	60°C, 80%	Passed 3	Passed 3 ^a	-	Passed 3 cycles	C, D
3M 8210	75°C, 90%	Passed 10 ^a	Passed 10	Failed after 1 cycle	Passed 1 cycle	B, C, F, L, M
3M 8200	75°C, dry	-	Passed 5	-	-	G
3M 8511	75°C, dry	-	Passed 5	-	-	G
4C Air	75°C, dry	-	Passed 5	-	-	G, H
Jackson 20	75°C, dry	-	Passed 5	-	-	G
3M 9211+	70°C, dry	-	Failed after 3 cycles	-	-	I
3M 9210	-	-	-	Fit passed 10 cycles (no filtration tests)	-	B
3M 1804S	-	-	-	Fit passed 10 cycles (no filtration tests)	-	B
3M 1862+	-	-	-	Filtration passed 5 cycles (no fit tests)	-	J
Aearo 1054S	-	-	-	Fit passed 10 cycles (no filtration tests)	-	B
Cardinal Health	-	-	-	-	Filtration passed 1 cycle (1.5 min) (no fit tests)	K

A: (*Andregg et al., 2020), B: (*Kumar et al., 2020), C: (Bergman et al., 2010), D: (Bergman et al., 2011), E: (Viscusi et al., 2007), F: (*Massey et al., 2020), G: (*Price et al., 2020), H: (*Liao et al., 2020), I: (*Fischer et al., 2020), J: (van Straten et al., 2020), K: (Fisher et al., 2011), L: (Viscusi et al., 2011), M: (*3M, 2020)

- a. “Passed” とは、処理サイクルを表示回数行った後のフィルター性能が 95%以上のもの
- b. “Passed” とは、定量フィットテストでフィットファクターが 100 以上
- c. 文献中のフィットテストは 30 分サイクルではなく、殆どのケースで 15 分サイクルで行っている
- d. Filtration ろ過テストは低めの温度湿度（65°C, 50-80%）で行っている。詳細は文献 L を参照のこと
- e. 参照した文献ではすべて各電子レンジで 1100 W と表示されているが、各著者たちは実際の出力は小さい可能性があるとして記している

6 戦略

多くの病院では、**上述の 70-85°Cの温度と 50%以上の湿度を加えることができる装置を持っているか、容易に購入することができる。**たとえば、保温キャビネット、循環恒温水槽、オートクレーブ、対流オーブン、または微生物培養器などを使うことができる。熱源と直接接する装置は使用すべきではない。なぜなら、そのような装置は、局所温度を目標温度より高温にし、呼吸用保護マスクにダメージを与えるリスクがあるためである。目標湿度は、以下のような方法で達成できる。例えば、N95 FFR を一時的に不透水性の熱安定性プラスチック容器（例えば、ジップロック容器）に入れ、各容器に湿度源を入れる方法がある。あるいは、N95 FFR を透水性容器に個別に入れ、加熱装置全体の湿度を上げる方法もある。N95 FFR を個別容器に入れることが推奨される理由は、N95 FFR を物理的に分離し（交差汚染の可能性を低減）、除染された N95 FFR を元の使用者に戻すことを可能にするためである。我々は、熱サイクル直後の N95 FFR のエアレーション（空気に当てて乾燥させること）を強く推奨するが、これは、病原体の増殖リスクを低減できる可能性があるからである。

ここで挙げたいかなる装置や方法についても、重要な処理パラメータの検証は、適切な制御と性能を確実にするために必要である。どの方法を選択したとしても、目標とする温度と相対湿度で、目標とする時間の処置を、装置全体の空間に対して均質性を持って維持達成できたかを判定することが重要である。この検証は、通常の処理条件にできるだけ近い条件で、電子的な温度・湿度センサによるモニタリングを十分に行いながら施行する必要がある。細心の注意を払って、適切な等級のセンサを選択すべきである。この検証は、その施設内で確立した品質管理（QC）プラクティスおよび監査実施責任部門が決める頻度で定期的に繰り返すべきである。

除染処理を経た N95 FFR を着用する際には、ユーザーは、現場で推奨される手順で N95 FFR のフィット性を確認し、密着性が損なわれていないことを確認すべきである。

7 主なリスクと不明点

本報告書において、SARS-CoV-2 で汚染された N95 FFR の除染の有効性を直接調べた研究は 2 件のみであり、いずれも査読を完了していない。熱を介した SARS-CoV-2 の不活化における相対湿度の役割に関するデータや、N95 FFR ウイルスの不活化に及ぼす接種媒体（粘液、培地、エアロゾル化飛沫など）の影響に関するデータが発表予定である。

このレビューでは、SARS-CoV-2 の不活性化につながる可能性の高い条件のみを検討したが、**他の病原体のリスクは残っている。**多くの病院では現在、N95 FFR を次の使用まで室温で保管している。したがって、N95 の微生物負荷の増加について、加湿熱処置後に室温保管した場合と、何もせずに室温保管した場合の比較評価が非常に重要である。

ウイルス不活化を期待して加熱を試みる場合、N95 FFR はそれぞれを物理的に離して個別に管理し、同じ医療

従事者によってのみ再利用されるようにするべきである。

相対湿度がウイルスの不活化に重要な要因であることがデータから示唆されており、除染を達成するためには品質保証手段が重要である。熱源や湿度源の処理ばらつきにより、ウイルス除染が不十分なサイクルが発生する可能性がある。

8 結論

可能であれば、未使用の N95 FFR や他の個人用保護具が支給されるべきである。しかし、緊急時に、これがいづも可能とは限らない。容易に入手できる道具や物品を使って、臨床スタッフを保護するための現実的な方法を編み出すための一助とすることが、本稿を公開する理由である。この COVID-19 パンデミック時に、N95 FFR の除染と再利用の必要性に直面している医療機関の指針となることを願う。加湿熱による除染において強調すべきことは、(i) 各除染処理後毎にユーザーシールチェックを行うこと、(ii) 着脱を繰り返すことは FFR のフィット感に影響を与える可能性があること、(iii) ウイルス不活化後も細菌やカビの胞子が残存している可能性があるため、FFR は完全に滅菌されていると考えるべきではないことである。

入手可能な文献のレビューを行った結果、熱や湿度による不活化に必要な条件は、病原体によって異なることが明らかになった。したがって、N95 FFR における SARS-CoV-2 不活化の適切な条件を決定するための研究が早急に必要である。N95 FFR における SARS-CoV-2 における不活化の基礎的データ、および SARS-CoV-2 と類似の安定性を示す可能性のある他の病原体（例えば N95 FFR 上のインフルエンザ H1N1 および H5N1）によるデータは、**70°C-85°C・相対湿度 50%以上の加湿熱で 60 分間という条件が、SARS-CoV-2 で汚染された N95 FFR の除染についての更なる研究のための、良きベースをなすことを示唆する。**N95FFR 上の SARS-CoV-2 の加湿熱による不活化の有効性を評価するための実験が、いくつか進行中である。

オートクレーブ処理に関する文献によると、オートクレーブ処理は特定の N95 FFR モデル（3M 1870 のような層状のプリーツモデル）に有効な SARS-CoV-2 除染方法である可能性があるが、3M 1860 のような成形 FFR は 1-2 サイクルの除染で使用不可になる。いくつかの N95 FFR モデルは 3 サイクルまでの電子レンジスチーム処理(MGS)に耐えることができるが、SARS-CoV-2 の不活化に MGS が有効かどうかは現在の文献からは不明である。

この文書は、より多くの情報が入手でき次第、更新される予定である。ここで検討されている戦略は、多くの臨床現場で実施されている様々な加熱装置を適用できる（例えば、温熱キャビネット、還流水槽、オートクレーブ、微生物培養器、および工業用対流オープン）可能性がある。これらの戦略は、SARS-CoV-2 ウイルスおよびその代替ウイルス（インフルエンザなど）の不活化のみに焦点を当てており、**N95 の完全な滅菌手段としては機能しない。**この文書では、病院で懸念される他の病原体の不活化に対する加熱や加湿の有効性を評価していない。最終的には、この要約が、病院がそれぞれの N95 除染戦略を FDA 承認に沿って策定し、必要不可欠である医療従事者と最前線の職員の健康を守るための一助になることを希望するものである。

9 付録 A: 液体培地中の SARS-Coronaviruses に熱が与える影響

N95 FFR やその他の表面での SARS-CoV-2 の不活化を検討したデータはほとんどないが、液体に懸濁したウイルスの熱による不活化を支持するエビデンスはある。これらのデータは完全を期すために含まれているが、**溶液中での**

不活化は、同様の条件での N95 FFR の除染を意味しないことを示唆するエビデンスがある。非常に最近の未査読論文は、液体媒体中の SARS-CoV-2 の感染性が、92°Cに 15 分間曝露した後に >6-log (1/1,000,000) まで減少することを示し、56~60°Cで 30~60 分間曝露した場合はわずかに効果が低いことを示している (*Pastorino et al, 2020)。さらに、最近のデータは、液体媒体中の SARS-CoV-2 が 70°Cで 5 分間曝露することによって不活化され得ることを示している (Chin et al., 2020)。SARS-CoV-2 と SARS-CoV-1 が 79%のゲノム同一性を共有し (Lu et al., 2020)、エアロゾル中およびプラスチック、ステンレス鋼、および銅を含む環境表面上での感染粒子の安定性が類似していることを考慮して (*van Doremalen et al., 2020)、SARS-CoV-1 の温度感受性についても調べた。様々な液体媒体中で 60~75°Cで 5~30 分間保持すると、SARS-CoV-1 の感染性が低下する (表 S1 参照)。ウイルスの不活化のための時間および温度は、血液または粘液など、ウイルスが存在する媒体に左右されることに注意が重要である (Darnell et al., 2004; Darnell & Taylor, 2006; Rabenau et al., 2005)。CDC のガイドラインは、血液、粘液、または他の汚れが目に見える FFR を再利用すべきではないとしている (CDC, 2020a)。

これらの結果は液体媒体に特有のものであり、N95 FFR の除染に必要な条件を定量的に反映したものではない。液体媒体中の SARS-コロナウイルスに対する熱の影響の要約を表 S1 に示す。

表 S1. 液体媒体中の SARS-コロナウイルスに対する加熱の影響

注意：液体媒体中の加熱不活化が N95 表面上では同様の結果になることを意味しない

Author 著者	Media 媒体	Temperature 温度	Time (min) 時間(分)	Strain(s) 汚染	Effectiveness (log reduction) 効果(対数減衰)
A	VTM ^a	56°C 70°C	30 5	SARS-CoV-2	≥4.6 ^a ≥3.0 ^a
B	MEM + 5% FBS +/- BSA	56°C 60°C 92°C	30 60 15		>5 >5 >6
C	0, 10% & 16% BSA	60°C	20	SARS-CoV-1	≥3.5
D	MEM +/- 20% FBS		30		≥5.01
C	Human plasma	65°C	20	SARS-CoV-1	≥4.25
E	DMEM		5		≥4.5
F	EM + 10% FBS	67°C	60	SARS-CoV-1	No detectable CPE ^c
E	DMEM	75°C	15	SARS-CoV-1	≥4

F	EM + 10% FBS		30		No detectable CPE ^c
G	4% FBS	58°C 68°C	30 10	SARS-CoV-1	4.9 >4.3
H	MEM + 10% FBS, 25% human serum	60°C	30	SARS-CoV-1	>4.5

A: (Chin et al., 2020), B: (*Pastorino et al., 2020), C: (Darnell & Taylor, 2006), D: (Rabenau et al., 2005), E: (Darnell et al., 2004), F: (Duan et al., 2003), G: (Pagat et al., 2007), H: (Yunoki et al., 2004)

a. N95DECON により、5.3 +/- 0.17 log TCID50 から 100 TCID50 検出限界以下までの最小の倍率変化 (fold change) を、信頼度 95% で計算。

b. ウイルス輸送媒体 (緩衝塩溶液, ウシ胎児血清, 抗生物質, 抗真菌剤)

c. C P E (細胞毒性効果)

10 付録 B: N95 FFR 機能についての補完データ要約表

表 S2. N95 FFR の耐久性に対する熱-湿度処理の影響 (追記版)

Model モデル	Method 方法	Temp. & Relative Humidity 温度 & 相対湿度	Time (min) 時間 (分)	# cycles tested テストした時 の除染回数	Filtration efficiency ろ過効率	Fit testing フィットテスト	Notes on respirator damage 呼吸用防護マスクのダメージに関する覚書	Refs. 文献
3M 1860	Oven Oven Oven Autoclave MGS	85°C, 60–85% 80 to 120°C, dry 60°C, 50–80% 121°C, steam 100°C, steam (1100- W)	30 60 30 15 1.5–2	5 1 10 10 3	100% 99 to 98% >95% N/A 99%	Passed N/A Passed Failed Passed	Failed after first cycle; 初回で不可	A N C, D, L, M B C, D, K
3M 1870	Oven Oven Oven Autoclave MGS	80 to 120°C, dry 60°C, 80% 60°C, 80% 121°C, steam 100°C, steam (1100- W)	60 15 / 30 30 15 1.5–2	1 3 / 1 3 10 3	99 to 98% N/A 99% N/A 99%	N/A Passed N/A Passed Passed	Nose foam partly delaminated for all methods: 全ての方法で鼻部分のフォームが部分的に剥離	N D / L C B C, D, K
3M 1862+	Autoclave	121°C, steam	15	5	97%	N/A	Blind test indicated 3-times cycled FFRs visually indistinguishable from untreated FFRs: ブラインドテストでは、未処理 FFR と視覚的に区別がつかない 3 回除染後の FFR を用いた	J
3M 8000	Oven Oven Oven Autoclave MGS	80 to 120°C, dry 80°C, dry 60°C, 80% 121°C, steam 100°C, steam (1100- W)	60 60 30 15, 30 2	1 1 3 1 3	99 to 98% 99% 99% 81%, 66% 99%	N/A N/A Passed N/A Passed	No visible changes to the FFR: 見かけ上の変化なし FFRs "deformed, stiff, and mottled": FFR "変形・硬直・斑点化"	N E C, L E C, L
3M 8210	Oven Oven Oven Oven Autoclave MGS	80 to 120°C, dry 60°C, 50–80% 75°C, dry 75°C, 90% 121°C, steam 100°C, steam (1100- W)	60 30 30 30 15 1.5–2	1 10 10 10 10 3	100 to 99% >95% N/A N/A N/A 100%	N/A Passed Passed Passed Failed Passed	Fit factor decreased from ~150 to ~125 after 1 cycle (ref. R): フィットファクターは 1 サイクル後に 150 から 125 に減少 (文献 R) Failed after first cycle: 初回で不可	N C, D, L, M F B C, L, K
3M 8200	Oven	75°C, dry	30	5	N/A	Passed		G
3M 8210+	Oven Oven	85°C, 60–85% 75°C, dry	30 30	5 5	100% N/A	Passed Passed		A G
3M 8511	Oven	75°C, dry	30	5	N/A	Passed		G

3M 1804S	Autoclave	121°C, steam	15	10	N/A	Passed		B
3M 9210	Autoclave	121°C, steam	15	10	N/A	Passed		B
3M 9211+	Oven	70°C, dry	30	3	N/A	Failed	Fit decreased factors from ~200 to ~90: フィットファクターの減少は 200 から 90	I
Aearo 1054S	Autoclave	121°C, steam	15	10	N/A	Passed		B
Moldex 2200	Oven Oven MGS	80 to 120°C, dry 60°C, 80% 100°C, steam (1100- W)	60 3 1.5-2	1 3 3	99 to 95% 99% 98-99%	N/A Passed Passed	<95% filtration efficiency for 2/3 samples at 120 °C (ref. O) 2/3 のサンプルが 120°C で 95% 未満のろ過効率に(文献 O)	N C, L C, L, K
KC PFR95-270	Oven Oven Oven MGS	80 to 120°C, dry 60°C, 80% 60°C, 80% 100°C, steam (1100- W)	60 15 / 30 30 1.5-2	1 3 / 1 3 3	99 to 95% N/A 98% 96-98%	N/A Passed N/A Passed	4 of 9 samples melted at oven temperatures above 90 °C and were not tested (ref. O) 9 つのサンプルのうち 4 つは 90°C 以上のオープン温度で溶融し、試験は行われていない(文献 O)	N D / L C C, D, K
Cardinal Health	MGS	100°C, steam (1100- W)	1.5	1	100%	N/A		K
4C Air	Oven Oven	75°C, dry 75°C, dry	30 30	20 5	99% N/A	N/A Passed		H G
Jackson 20	Oven	75°C, dry	30	5	N/A	Passed		G
N95 fabric	Oven Oven Oven Steam	75°C, dry to 100% 100°C, <30% 125°C, <30% 100°C, steam	30 10 10 10	20 20 20 10	95% 95% 91% 80%	N/A N/A N/A N/A		H H H H

A: (Anderegg et al., 2020), B: (*Kumar et al., 2020), C: (Bergman et al., 2010), D: (Bergman et al., 2011), E: (Viscusi et al., 2007), F: (*Massey et al., 2020), G: (*Price et al., 2020), H: (*Liao et al., 2020), I: (*Fischer et al., 2020), J: (van Straten et al., 2020), K: (Fisher et al., 2011), L: (Viscusi et al., 2011), M: (*3M, 2020), N: (Viscusi et al., 2011)

- “Passed” とは定量フィットテストでフィットファクターが 100 より大きことを意味する。
- フィットテストは 1 回目のサイクル後に行われた。詳細は文献 R 参照のこと。
- この研究は、N95 型 FFR のろ過布として使用されているカット済みのメルトブローン布材を用いて行われた。
- この研究は、Moldex 2200 および KC PFR95-270 モデルの「小」サイズバージョン (Moldex 2201 および KC PFR95-174 と命名された) で実施された。
- MGS の引用研究はすべて定格 1000W のマイクロ波を使用している。著者らは、実際の出力は低めであったかもしれないと記している

N95DECON が提供するコンテンツは、情報提供のみを目的としたものであり、医学的なアドバイスを提供するものではなく、また個別の専門家による医学的判断、アドバイス、診断、治療の代わりになるものではありません。N95DECON が提供するコンテンツの使用または信頼は、個人の責任において行ってください。N95DECON の免責事項の詳細は以下をご覧ください

<https://www.n95decon.org/disclaimer>

参考文献

- *3M. (2020). *Decontamination Methods for 3M N95 Respirators*.
<https://multimedia.3m.com/mws/media/1824869O/decontamination-methods-for-3m-n95-respirators-technical-bulletin.pdf>
- *Anderegg, L., Meisenhelder, C., Ngooi, C. O., Liao, L., Chu, S., Cui, Y., & Doyle, J.M. (2020). A Scalable Method of Applying Heat and Humidity for Decontamination of N95 Respirators During the COVID-19 Crisis. *medRxiv*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1101/2020.04.09.20059758>
- Bergman, M. S., Viscusi, D. J., Heimbuch, B. K., Wander, J. D., Sambol, A. R., & Shaffer, R. E. (2010). Evaluation of Multiple (3-Cycle) Decontamination Processing for Filtering Facepiece Respirators. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 5(4), 33–41. <https://doi.org/10.1177/155892501000500405>
- Bergman, M. S., Viscusi, D. J., Palmiero, A. J., Powell, J. B., & Shaffer, R. E. (2011). Impact of Three Cycles of Decontamination Treatments on Filtering Facepiece Respirator Fit. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*, 28(1), 48-59. <https://doi.org/10.1080/15459624.2011.585927>
- Bergman, M. S., Viscusi, D. J., Zhuang Z., Palmiero, A. J., Powell, J. B., & Shaffer, R. E. (2012). Impact of Multiple Consecutive Donnings on Filtering Facepiece Respirator Fit. *American Journal of Infection Control*, 40(4), 375-380. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2011.05.003>
- Casanova, L. M., Jeon, S., Rutala, W. A., Weber, D. J., & Sobsey, M. D. (2010). Effects of Air Temperature and Relative Humidity on Coronavirus Survival on Surfaces. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(9), 2712–2717. <https://doi.org/10.1128%2FAEM.02291-09>
- CDC. (2020a, March 27). *Recommended Guidance for Extended Use and Limited Reuse of N95 Filtering Facepiece Respirators in Healthcare Settings*.
<https://www.cdc.gov/niosh/topics/hcwcontrols/RecommendedGuidanceExtUse.html>
- CDC. (2020b, April 9). *Decontamination and Reuse of Filtering Facepiece Respirators*.
<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/ppe-strategy/decontamination-reuse-respirators.html>
- CDC. (2008). *Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities*.
<https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/disinfection/sterilization/steam.html>
- *Chin, A. W. H., Chu, J. T. S., Perera, M. R. A., Hui, K. P. Y., Yen, H.-L., Chan, M. C. W., Peiris, M., & Poon, L. L. M. (2020). Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *Lancet Microbe*, in press.
[https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(20\)30003-3](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(20)30003-3)
- Darnell, M. E. R., Subbarao, K., Feinstone, S. M., & Taylor, D. R. (2004). Inactivation of the coronavirus that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV. *Journal of Virological Methods*, 121(1), 85–91.
<https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2004.06.006>
- Darnell, M. E. R., & Taylor, D. R. (2006). Evaluation of inactivation methods for severe acute respiratory syndrome coronavirus in noncellular blood product. *Transfusion*, 46(10), 1700–1777.
<https://doi.org/10.1111/j.1537-2995.2006.00976.x>
- Duan, S.-M., Zhao, X.-S., Wen, R.-F., Huang, J.-J., Pi, G.-H., Zhang, S.-X., Han, J., Bi, S.-L., Ruan, L., Dong, X.-P., & SARS Research Team (2003). Stability of SARS Coronavirus in Human Specimens and Environment and Its Sensitivity to Heating and UV Irradiation. *Biomedical and Environmental Sciences*, 16(3), 246–255.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14631830>
- *Fischer, R. J., Morris, D. H., van Doremalen, N., Sarchette, S., Matson, M. J., Bushmaker, T., Yinda, C. K., Seifert, S. N., Gamble, A., Williamson, B. N., Judson, S. D., de Wit, E., Lloyd-Smith, J. O., & Munster, V. J. (2020). Assessment of N95 respirator decontamination and re-use for SARS-CoV-2. *medRxiv*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1101/2020.04.11.20062018>

- Fisher, E. M., Williams, J. L., & Shaffer, R. E. (2011). Evaluation of microwave steam bags for the decontamination of filtering facepiece respirators. *PloS one*, 6(4), e18585. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018585>
- FDA. (2020, April). *Enforcement Policy for Face Masks and Respirators During the Coronavirus Disease (COVID-19) Public Health Emergency (Revised)*. <https://www.fda.gov/media/136449/download>
- Guan, J., Chan, M., & VanderZaag, A. (2017). Inactivation of Avian Influenza Viruses on Porous and Non-porous Surfaces is Enhanced by Elevating Absolute Humidity. *Transboundary and Emerging Diseases*, 64(4), 1254–1261. <https://doi.org/10.1111/tbed.12499>
- Heimbuch, B. K., Wallace, W. H., Kinney, K., Lumley, A. E., Wu, C.-Y., Woo, M.-H., & Wander, J.D. (2011). A pandemic influenza preparedness study: use of energetic methods to decontaminate filtering facepiece respirators contaminated with H1N1 aerosols and droplets. *American Journal of Infection Control*, 39, e1–e9. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21145624>
- *Kumar, A., Kasloff, S. B., Leung, A., Cutts, T., Strong, J. E., Hills, K., Vazquez-Grande, G., Rush, B., Lother, S., Zarychanski, R., & Krishnan, J. (2020). N95 Mask Decontamination using Standard Hospital Sterilization Technologies. *medRxiv*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1101/2020.04.05.20049346>
- *Liao, L., Xiao, W., Zhao, M., Yu, X., Wang, H., Wang, Q., Chu, S., Cui, Y. (2020). Can N95 respirators be reused after disinfection? And for how many times? *medRxiv*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1101/2020.04.01.20050443>
- Lin, K., & Marr, L. C. (2020). Humidity-Dependent Decay of Viruses, but Not Bacteria, in Aerosols and Droplets Follows Disinfection Kinetics, *Environmental Science & Technology*, 54(2), 1024–1032. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04959>
- Lore, M. B., Heimbuch, B. K., Brown, T. L., Wander, J. D., & Hinrichs, S. H. (2012). Effectiveness of Three Decontamination Treatments against Influenza Virus Applied to Filtering Facepiece Respirators, *Annals of Occupational Hygiene*, 56(1), 92–101. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mer054>
- Lu, R., Zhao, X., Li, J., Ni, P., Yang, B., Wu, H., Wang, W., Song, H., Huang, B., Zhu, N., Bi, Y., Ma, X., Zhan, F., Wang, L., Hu, T., Zhou, H., Hu, Z., Zhou, W., Zhao, L., ... Tian, W. (2020). Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding, *Lancet*, 395(10224), 565–574. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30251-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30251-8)
- *Massey, T., Paik, S., Fuhrer, K., Bora, M., Haque, R., Baxmusa, S. H. (2020). Quantitative form and fir of N95 filtering facepiece respirators are retained after dry and humid heat treatments for coronavirus deactivation. *medRxiv*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1101/2020.04.15.20065755>
- McDevitt, J., Rudnick, S., First, M., & Spengler J. (2010). Role of Absolute Humidity in the Inactivation of Influenza Viruses on Stainless Steel Surfaces at Elevated Temperatures. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(12), 3943–3947. <https://doi.org/10.1128/AEM.02674-09>
- OSHA. (n.d.). *OSHA Technical Manual, Section VIII - Use of Respirators*. Retrieved April 22, 2020, from https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_viii/otm_viii_2.html#8
- Pagat, A.-M., Seux-Goepfert, R., Lutsch, C., Lecouturier, V., Saluzzo, J. F., & Kusters, I. C. (2007). Evaluation of SARS-Coronavirus Decontamination Procedures, *Applied Biosafety*, 12(2), 100–108. <https://doi.org/10.1177/153567600701200206>
- Park, D. K., Bitton, G., & Melker, R. (2006). Microbial inactivation by microwave radiation in the home environment. *Journal of Environmental Health*, 69(5), 17-24.
- *Pastorino, B., Touret, F., Gilles, M., de Lamballerie, X., & Charrel, R. N. (2020). Evaluation of heating and chemical protocols for inactivating SARS-CoV-2. *bioRxiv*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1101/2020.04.11.036855>

- Price, A., & Chu, L. (2020). *Addressing COVID-19 Face Mask Shortages [v1.3]*. Stanford Anesthesia Informatics and Media Lab & Lernaly COVID-19 Evidence Service. <https://stanfordmedicine.app.box.com/v/covid19-PPE-1-2>
- *Price, A. Cui, Y., Liao, L., Xiao, W., Yu, X., Wang, H., Zhao, M., Wang, Q., Chu, S., & Chu, L. (2020). Is the fit of N95 facial masks effected by disinfection? A study of heat and UV disinfection methods using the OSHA protocol fit test. *medRxiv*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1101/2020.04.14.20062810>
- Prussin, A. J., II, Schwake, D. O., Lin, K., Gallagher, D. L., Buttling, L., & Marr, L. C. (2018). Survival of the Enveloped Virus Phi6 in Droplets as a Function of Relative Humidity, Absolute Humidity, and Temperature. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(12), Article e00551-18. <https://doi.org/10.1128/AEM.00551-18>
- Rabenau, H. F., Cinatl, J., Morgenstern, B., Bauer, G., Preiser, W., & Doerr, H. W. (2005). Stability and inactivation of SARS coronavirus. *Medical Microbiology and Immunology*, 194, 1–6. <https://doi.org/10.1007/s00430-004-0219-0>
- Rodriguez-Palacios, A. & LeJeune, J. T. (2011). Moist-Heat Resistance, Spore Aging, and Superdormancy in *Clostridium difficile*. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(9), 3085-3091. <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.01589-10>
- *van Doremalen, N., Morris, D. H., Holbrook, M. G., Gamble, A., Williamson, B. N., Tarmin, A., Harcourt, J. L., Thornburg, N. J., Gerber, S. I., Lloyd-Smith, J. O., de Wit, E., & Munster, V. J. (2020, March 17). Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1 [Letter to the editor]. *New England Journal of Medicine*, 1–3. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>
- van Straten, B., de Man, P., van den Dobbelen, J., Koeleman, H., van der Eijk, A., & Horeman, T. (2020). Sterilization of disposable face masks by means of standardized dry and steam sterilization processes; an alternative in the fight against mask shortages due to COVID-19, *Journal of Hospital Infection*. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.04.001>
- Vejerano, E. P. & Marr, L. C. (2018). Physico-chemical characteristics of evaporating respiratory fluid droplets. *J. R. Soc. Interface*, 15(139), 20170939. <http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2017.0939>
- Viscusi, D. J., King, W. P., & Shaffer, R. E. (2007). Effect of Decontamination on the Filtration Efficiency of Two Filtering Facepiece Respirator Models. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*, 24, 93–107. <https://www.isrp.com/the-isrp-journal/journal-public-abstracts/1138-vol-24-no-3-and-no-4-2007-pp-93-107-viscusi-open-access/file>
- Viscusi, D. J., Bergman, M. S., Eimer, B. C., & Shaffer, R. E. (2009). Evaluation of Five Decontamination Methods for Filtering Facepiece Respirators. *The Annals of Occupational Hygiene*, 53(8), 815–827. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mep070>
- Viscusi, D. J., Bergman, M. S., Novak, D. A., Faulkner, K. A., Palmiero, A., Powell, J., & Shaffer, R. E. (2011). Impact of three biological decontamination methods on filtering facepiece respirator fit, odor, comfort, and donning ease. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 8(7), 426-436. <https://doi.org/10.1080/15459624.2011.585927>
- Yunoki, M., Urayama, T., Yamamoto, I., Abe, S., & Ikuta, K. (2004). Heat sensitivity of a SARS-associated coronavirus introduced into plasma products. *Vox Sanguinis*, 87, 302-303. <https://doi.org/10.1111/j.1423-0410.2004.00577.x>