

Proteção Respiratória para exposições a Riscos Biológicos Suspensos no Ar

Resumo

As doenças podem ser transmitidas através de várias maneiras (vias de entrada), incluindo a inalação de aerossóis. Quando devidamente selecionado, utilizado, colocado/vedado e conservado, os respiradores que filtram os particulados do ar têm demonstrado reduzir a quantidade de aerossóis - ambos os bioaerossóis e aerossóis não biológicos - que são inalados pelo usuário. Por outro lado, a maioria das máscaras cirúrgicas não é projetada para vedar firmemente no rosto, e a pesquisa mostrou que elas não atingem o nível de redução de contaminantes comparado com um respirador certificado (quando usado corretamente). Embora tenham sido levantadas questões se partículas biológicas podem ser filtradas tão bem quanto partículas não biológicas, a pesquisa mostra que um respirador com filtro para particulado remove os bioaerossóis de maneira semelhante aos não biológicos aerossóis do ar que passa através dele.

Quando a proteção respiratória é necessária para ajudar a reduzir a exposição aos bioaerossóis, o usuário deve selecionar um respirador para particulado certificado de acordo com as recomendações do CDC, da OMS, da ANVISA ou das agências locais aplicáveis. Depois que um respirador for selecionado, um programa contínuo e eficaz de proteção respiratória, conforme especificado pelos regulamentos locais aplicáveis (no caso do Brasil, o Programa de Proteção Respiratória da FUNDACENTRO), deve ser implementado. Este programa inclui treinamento sobre os riscos respiratórios, ensaio de vedação, manutenção e descarte adequados dos respiradores.

Introdução

Recentemente, tem havido um interesse crescente no uso de respiradores para ajudar a proteger contra certos riscos biológicos no ar. Doenças que podem ser causadas por inalação de organismos biológicos transportados pelo ar incluem tuberculose (TB), hantavírus, antraz, coronavírus (incluindo SARS, MERS e outros) e gripe. Os riscos biológicos podem ficar no ar, talvez como o próprio agente, como um esporo de antraz, ou como o agente ancorado em algum outro material que se seja transportado pelo ar, como poeiras, névoas ou núcleos de gotículas. A infecção por hantavírus foi causada por pessoas que inalaram poeira do solo que foram transportadas pelo ar depois que roedores deixaram o vírus pela urina, fezes ou outros materiais no solo. De fato, geralmente se pensa que os vírus transmitidos pelo ar normalmente estão ligados a outras partículas e raramente existem como organismos nus.¹

A inalação desses bioaerossóis pode ser reduzida com o uso de respiradores. O Centro para Controle e Prevenção de Doenças (CDC) dos EUA, a Organização Mundial da Saúde (OMS), a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) no Brasil e muitas autoridades nacionais de saúde fizeram inúmeras recomendações para o uso de respiradores, onde eles acreditavam que exista o potencial de disseminação de doenças pela via aérea. Considerações para a seleção e uso de respiradores para ajudar a reduzir a exposição a bioaerossóis incluem:

- Filtração;
- Sobrevivência de microrganismos no filtro;
- Reaerossolização potencial do bioaerossol;
- Reutilização do respirador;
- Ajuste e fator de proteção atribuído ao respirador;

Esses tópicos são abordados neste documento.

Rotas de Exposição

A inalação não é a única via de exposição para riscos biológicos. A infecção pode ocorrer por outros meios de exposição, como ingestão, penetração na pele e nas mucosas (incluindo os olhos) e picadas de animais e insetos. A penetração pela pele e pela membrana mucosa pode ocorrer por contato direto com aerossóis ou secundariamente - por exemplo, uma mão tocando uma superfície contaminada e depois tocando uma membrana mucosa.

A maneira que uma doença é transmitida define quais tipos de controle são úteis para prevenir sua transmissão. Se a doença puder ser transmitida por contato, evitar que as superfícies sejam contaminadas e a higiene das mãos é muito importante. Máscaras cirúrgicas podem ser usadas por pessoas infectadas, a fim de ajudar a reduzir a transmissão através de aerossóis exalados. Máscaras cirúrgicas, óculos de segurança ou óculos ampla visão de proteção e protetores faciais podem ser usados para ajudar a proteger as membranas mucosas do profissional de saúde (olhos, nariz e boca) de grandes jatos de sangue e outros fluidos corporais. O uso de respiradores também pode ser apropriado.

Partículas com tamanho variando de submicron a 100 µm podem permanecer no ar por longos períodos de tempo.² Partículas de tamanho menores que 100 µm podem entrar no nariz, boca e garganta e são considerados "inaláveis". Partículas menores que 10 µm podem atingir os bronquíolos grandes e são consideradas a fração "torácica", e partículas menores que aproximadamente 5 µm podem entrar profundamente no pulmão e são considerados a fração "respirável".³

Certas doenças podem se espalhar pelas vias aéreas. Isso significa que se o organismo que causa a doença for aerossolizado existe o potencial para doenças. A tuberculose é uma doença que se espalha pelas vias aéreas. Sabe-se que os trabalhadores da saúde adquirem infecções por tuberculose durante o atendimento a pacientes com a doença. Em um caso particular, os pesquisadores acreditam que a transmissão ocorreu durante um procedimento de geração de aerossóis que um profissional de saúde realizou sem o uso de respirador, de acordo com as orientações da época.⁴⁵ Foram apresentadas evidências que indicam que as vias aéreas são uma das maneiras pelas quais a síndrome respiratória aguda grave (SARS) e a gripe sazonal podem ser transmitidas.⁴⁻⁸ A análise de vários sistemas das ventilações típicas em salas cirúrgicas sugere que as partículas transportadas pelo ar são rápidas e uniformemente distribuídas por toda a sala.⁴⁶ Quando transportados pelo ar, o vírus e as bactérias podem ser retidas por respiradores com filtros para particulados. Como nenhum respirador impedirá a inalação de todas as partículas, como os vírus e as bactérias, os respiradores não podem eliminar o risco de exposição, infecção e doença. Com tantas recomendações de uso de respiradores sendo elaboradas nos sites e outras fontes, é importante entender os respiradores e o papel que eles têm para ajudar a reduzir a exposição aos bioaerossóis.

Terminologia

Bioaerossóis são aquelas partículas suspensas no ar que são vivas ou se originam de organismos vivos.⁹ Elas incluem microrganismos e fragmentos, toxinas e poeira particulada de todas as variedades de seres vivos.

Um **respirador** é um dispositivo projetado para ajudar a fornecer ao usuário proteção respiratória contra a inalação de substâncias perigosas da atmosfera.¹⁰ Para os bioaerossóis, os respiradores com filtros para particulados são frequentemente recomendados para ajudar a reduzir a exposição.

Respiradores com filtro para particulado estão disponíveis como:

1. Respirador tipo peça facial filtrante (às vezes chamado de respirador descartável), onde o filtro é praticamente o respirador inteiro.
2. Respirador semi-facial elastomérico (reutilizável) com um filtro para particulado.
3. Respirador facial inteira elastomérico (reutilizável) com um filtro para particulado
4. Respirador motorizado purificador de ar que inclui um filtro para particulado

Os respiradores com filtro para particulados são classificados por seu desempenho conforme normas locais de certificação. Nos EUA, o teste é realizado pelo Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH). Na Europa, os respiradores são testados conforme as normas europeias e são aprovados pela Diretiva de EPI 89/686/EEC ou substituída pela Regulamentação de EPI (UE) 2016/425. No caso do Brasil, há normas ABNT NBR para quais certos produtos são analisados.

3M Divisão de Segurança Pessoal

A eficiência da filtração é um dos parâmetros de desempenho avaliado para a certificação. Os testes de eficiência da filtração são projetados para serem muito rigorosos. A Tabela A contém alguns dos requisitos mínimos de filtração de acordo com as normas dos EUA, da Europa, da China e do Brasil. Existem muitas variáveis de teste que afetam o desempenho, como tipo de aerossol, tamanho de partícula, taxa de fluxo, se o aerossol foi neutralizado por carga para o estado de equilíbrio de Boltzmann, etc. Para uma comparação mais detalhada da filtração global registrada do respirador do tipo peça facial filtrante, consulte o Boletim Técnico da 3M - [Comparação de PFF2, KN95 e N95 e Outras Peças Faciais Filtrantes](#).

Tabela A. Requisitos de eficiência de filtração de acordo com as normas dos EUA, da Europa, da China e do Brasil

Norma	Classificação	Eficiência de Filtração
NIOSH 42 CFR 84	N95	≥ 95%
NIOSH 42 CFR 84	N99	≥ 99%
NIOSH 42 CFR 84	N100	≥ 99.97%
EN 149:2001	FFP1 (peça facial filtrante)	≥ 80%
EN 149:2001	FFP2 (peça facial filtrante)	≥ 94%
EN 149:2001	FFP3 (peça facial filtrante)	≥ 99%
EN 143:2000, EN 140:1999, EN136:1998	P1 (peça facial elastomérica)	≥ 80%
EN 143:2000, EN 140:1999, EN136:1998	P2 (peça facial elastomérica)	≥ 94%
EN 143:2000, EN 140:1999, EN136:1998	P3 (peça facial elastomérica)	≥ 99.95%
GB2626-2006	KN/KP90	≥ 90%
GB2626-2006	KN/KP95	≥ 95%
GB2626-2006	KN/KP100	≥ 99.97%
ABNT/NBR 13.698-2011	PFF1 (peça facial filtrante)	≥ 80%
ABNT/NBR 13.698-2011	PFF2 (peça facial filtrante)	≥ 94%
ABNT/NBR 13.698-2011	PFF3 (peça facial filtrante)	≥ 99%
ABNT/NBR 13.697-2010	P1 (peça facial elastomérica)	≥ 80%
ABNT/NBR 13.697-2010	P2 (peça facial elastomérica)	≥ 94%
ABNT/NBR 13.697-2010	P3 (peça facial elastomérica)	≥ 99.95%

Observe que a penetração de partículas através do filtro é apenas uma das possíveis fontes de exposição a contaminantes. Outras fontes em potencial, como vazamentos pelas falhas de vedação no rosto, vazamento como resultado de manutenção inadequada ou não uso do respirador quando necessário pode contribuir mais para a exposição do que a penetração pelo filtro. Cada um desses fatores deve ser analisado e controlado. Por exemplo, todos os respiradores com filtro para particulado que são projetados para vedar no rosto (incluindo os respiradores tipo peças faciais filtrantes) podem ter sua vedação testada através de métodos de teste qualitativo de sacarina ou Bitrex™ (com exceção das máscaras faciais inteiras em alguns países da Europa e no Brasil) ou usando os métodos quantitativos adequados de ensaio de vedação, como o método de contagem de partículas no ambiente usando o equipamento PortaCount® da TSI®. Os usuários devem ser treinados para usar e manter adequadamente seus respiradores e a importância de usá-los o tempo todo durante uma potencial exposição.

Observe também que os respiradores ajudam a reduzir a exposição a contaminantes suspensos no ar, mas não impedem a inalação de todas as partículas. Como resultado, quando devidamente selecionados, usados e mantidos, os respiradores podem diminuir a exposição a concentrações consideradas seguras para a maioria das partículas não biológicas. No entanto, eles não eliminam o risco de exposição, infecção ou doença uma vez que os níveis de exposição segura não foram estabelecidos para partículas biológicas. Em muitos países, tipos ou classes de respiradores recebem um "fator de proteção atribuído" ou FPA. FPA é a capacidade esperada do respirador de reduzir a exposição quando usado de acordo com um programa eficaz de proteção respiratória. Por exemplo, um FPA de 10 significa que um respirador pode reduzir a exposição por um fator de 10 (ou 90%) quando selecionado, usado e mantido adequadamente. Portanto, mesmo que um filtro possa ser hipoteticamente 100% eficiente, a quantidade esperada de redução da exposição seria limitada pelo FPA. Porque nenhum respirador evitará a inalação de todas as partículas, e nenhum pode eliminar completamente o risco de exposição, infecção e doença.

Para obter mais informações sobre a seleção, uso e manutenção adequados da proteção respiratória, consulte a norma OSHA para proteção respiratória (29 CFR 1910.134) dos Estados Unidos (EUA), a EN 529 - Dispositivos de proteção respiratória: Recomendações para seleção, uso, cuidado e manutenção - documento de orientação,¹¹ o Programa de Proteção Respiratória da Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho ([FUNDACENTRO](#)) ou quaisquer normas e orientações locais aplicáveis.

Uma **máscara cirúrgica** é um dispositivo de controle de infecção projetado para ajudar a impedir a transmissão da infecção pela exalação da respiração do usuário para as pessoas potencialmente suscetíveis.¹² A máscara cirúrgica pode ajudar a reduzir a contaminação do ambiente, fornecendo uma barreira para gotículas grandes expelidas pelo usuário. No entanto, como as máscaras cirúrgicas não são testadas da mesma maneira que os respiradores, quaisquer reivindicações de "eficiência de filtração" não podem ser comparadas diretamente com as de um respirador.^{13,14} Uma máscara cirúrgica também pode ser testada por sua capacidade de reduzir a exposição do usuário contra respingos de fluido ou fluxos de alta velocidade. A maioria das máscaras cirúrgicas não são projetadas para vedar firmemente no rosto, e pesquisas demonstraram que elas não atingem o nível de redução de contaminantes fornecido por um respirador certificado pela NIOSH ou autoridade local.^{14,15} Verificou-se que isso é verdade tanto em estudos de laboratório¹⁴ quanto em locais de trabalho de saúde.¹⁵ Quando as taxas de infecção foram rastreadas entre os trabalhadores que usavam respiradores N95, trabalhadores que usavam máscaras cirúrgicas, e trabalhadores que não usavam nenhuma proteção, os respiradores N95 foram considerados protetores significantes contra bactérias e infecções virais, enquanto as máscaras cirúrgicas não foram.¹⁵ As máscaras cirúrgicas não receberam fatores de proteção da OSHA e não devem ser selecionadas para ajudar a reduzir a exposição a partículas inaláveis suspensas no ar. Para uma comparação mais detalhada, consulte o 3M Boletim Técnico - [Respiradores e Máscaras Cirúrgicas: Uma Comparação](#).

Em alguns casos, um respirador certificado também pode ter os atributos de uma máscara cirúrgica. Estes são algumas vezes referidos como "Respiradores Hospitalares". Esses produtos podem ajudar a bloquear grandes gotas expelidas pelo usuário, mas também mostram ter eficácia na filtração de partículas menores e são projetados para se ajustarem e vedarem firmemente ao rosto. Devido ao uso adicional como respirador, esse tipo de máscara cirúrgica (isto é, respirador hospitalar) também deve ser avaliado no ensaio de vedação. Para uma exploração de quando o respirador hospitalar é necessário, consulte o Boletim Técnico 3M - [Respirador Hospitalar vs. Respirador PFF2 – Qual considerar?](#)

Filtração

Várias questões foram levantadas com relação ao uso de respiradores contra agentes biológicos. A questão principal é se os respiradores com filtro para particulado podem ou não filtrar pequenas partículas, como esporos de fungos (2 a 5 µm), bactérias (0,3 a 10 µm) ou vírus (0,02 a 0,3 µm).¹⁵ O tamanho físico de vários organismos é mostrado na Tabela B. Como observado anteriormente, organismos biológicos podem ser transportados ancorados em outras partículas, incluindo poeira, sangue, saliva etc.

Gotas geradas pela tosse, espirros e falas secam rapidamente no ar para formar núcleos de gotículas. Núcleos de gotículas originados a partir da tosse, espirro e fala variam de submicron a até mais de 20 microns.^{16, 17} O vírus da gripe (Influenza) e outros vírus foram coletados da respiração exalada.¹⁸ Nota-se que núcleos de gotículas que contêm o Mycobacterium tuberculosis pode variar de menos de 1 µm até maior que 5 microns.^{19, 20} Partículas transportadas pelo ar contendo o vírus da gripe foram coletados do ar de quartos de hospital contendo pacientes com gripe, e foram encontrados de tamanhos que variam de menos de 1 µm até maior que 4 µm.⁴ A compreensão dos mecanismos de filtração pode ajudar a responder se ou não essas partículas podem ser filtradas por respiradores com filtro para particulado.

Muitos respiradores com filtro para particulado usam um meio filtrante fibroso de não-tecido para capturar partículas. Fibras de tamanho de menos de 1 µm a 100 µm cruzadas para formar uma rede de muitas camadas, que contém ar entre as fibras devido aos espaços. São esses espaços entre as fibras que permitem a respirabilidade. As partículas ficam presas ou capturadas ao fluir através das camadas do filtro, e uma partícula fica presa a uma fibra devido a vários mecanismos diferentes. O mais comum deles é o assentamento gravitacional, a impactação inercial, a interceptação, a difusão e atração eletrostática.¹

Tabela B. Tamanho de vários microorganismos

Microorganismo (nome comum ou doença)	Tamanho Físico (μm)
Vírus da Hepatite (Hepatite B)	0.042 - 0.047
Adenovírus (infecção respiratória)	0.07 - 0.09
Filovírus (Ebola)	0.08 diâmetro 0.79 - 0.97 comprimento
Bunyaviridae (Hantavírus)	0.08 - 0.012
Orthomyxoviridae (Gripe A, B, & C)	0.08 - 0.012
Corona vírus (SARS - CoV & MERS - CoV)	0.125
Variola Vírus (Varíola)	0.14 - 0.26 diâmetro 0.22 - 0.45 comprimento
Mycobacterium tuberculosis (TB - Tuberculose)	< 1 to > 5 diâmetro
Esporo de Bacillus anthracis (infecção Anthrax)	1.0 - 1.5 diâmetro

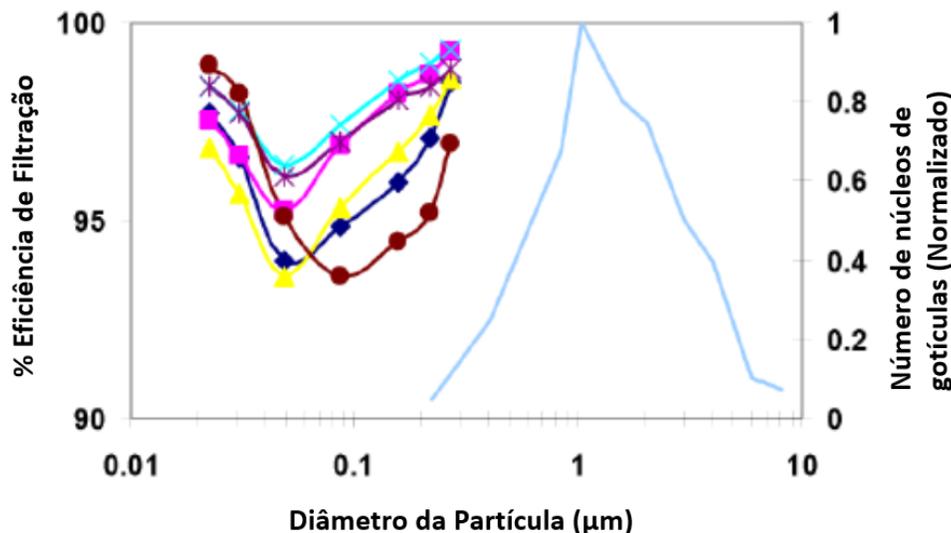
Para entender como uma partícula é capturada, é preciso primeiro considerar o movimento do ar através do meio filtrante. O caminho de o ar ao redor de uma fibra pode ser descrito como de linhas imaginárias de corrente de ar. Qualquer partícula transportada pelo ar pode ou não permanecer entre as fibras, dependendo em grande parte do tamanho da partícula (diâmetro aerodinâmico).

Partículas muito grandes (<100 μm) em movimento lento de corrente de ar podem se acomodar devido à gravidade. No entanto, a maioria das partículas respiráveis são pequenas demais para esse mecanismo. Partículas respiráveis acima de 0,6 μm de diâmetro são normalmente capturadas eficientemente por interceptação e impactação inercial.²¹ A impactação inercial ocorre quando uma partícula não pode seguir uma linha de ar em torno de uma fibra por causa de sua inércia e, em vez disso, impacta na fibra. No mecanismo de interceptação, a partícula mantém a linha de fluxo, mas essa linha de fluxo naturalmente aproxima a partícula o suficiente para entrar em contato com a fibra. Em contraste, a difusão é tipicamente muito eficiente para partículas menores que 0,1 μm . Movimentos aleatórios de moléculas de ar colidem com estas partículas muito pequenas e fazem elas passear pelas linhas de corrente de ar até entrarem em contato com uma fibra.

Devido aos vários mecanismos pelos quais a filtração de partículas ocorre, as menores partículas normalmente não são as mais difíceis de filtrar. A maioria dos filtros para partículas possuem uma região de menor eficiência de filtração, entre 0,05 e 0,5 μm .¹ Partículas nessa faixa são grandes o suficiente para serem menos efetivamente empurradas ao redor pela difusão, mas pequenas o suficiente para serem menos efetivamente capturadas por interceptação ou impactação. O tamanho de partícula mais penetrante (MPPS) dependerá do tipo do filtro, fluxo de ar e carga eletrostática carregada na partícula. Os filtros que usam atração eletrostática podem ter um MPPS alterado para uma faixa de captura um pouco menor de tamanho de partícula.

As eficiências de filtração de seis diferentes respiradores do tipo peça facial filtrante N95 disponíveis comercialmente, testadas pela 3M, são mostrados no lado esquerdo da Figura 1. (Pesquisas anteriores mostraram que, para produtos da 3M, os respiradores FFP2 europeus tem resultados equivalentes ou melhores na eficiência da filtração em testes representativos nos ambientes de assistência médica.) A eficiência média da filtração é mostrada como uma função de diferentes tamanhos de partículas de cloreto de sódio a uma vazão de 85 litros por minuto.

Figura 1. Eficiência média de filtragem para Seis respiradores N95* (à esquerda), e Distribuição por Tamanho dos Núcleos de Gotículas de um Espirro (à direita).



* Dados gerados em 2006

Embora houvesse variabilidade entre diferentes amostras do mesmo modelo de respirador e entre diferentes modelos, o MPPS incluiu partículas com um diâmetro entre 0,04 e 0,1 µm. Como visto na Figura 1, partículas que são menores ou maiores que o MPPS são capturadas com maior eficiência de filtragem. Filtragem por difusão (mais perceptível para partículas menores que 0,1 µm) na realidade aumenta à medida que o tamanho das partículas diminui. Outras pesquisas confirmaram que a eficiência do filtro aumenta com a diminuição do tamanho da partícula, mesmo para partículas tão pequenas que 0,003 µm (muito menores que as do vírus).²²

O tamanho da distribuição de partículas de um espirro é mostrada no lado direito da Figura 1.²³ Deve-se notar que a maioria dos núcleos de gotículas são maiores que o MPPS. Em outras palavras, núcleos de gotículas que podem conter microrganismos serão filtrados com alta eficiência por esses respiradores.

As reivindicações de filtração, especialmente em relação aos bioaerossóis, podem ser confusas. Para ajudar a maximizar o nível de proteção, certifique-se de usar um respirador que tenha sido testado e aprovado de acordo com todos os regulamentos locais aplicáveis. E, como mencionado acima, a eficiência da filtração é apenas um dos componentes necessários que precisam ser considerados ao selecionar e usar um respirador.

Uma pergunta frequentemente realizada é se os aerossóis biológicos são removidos pelos filtros dos respiradores da mesma forma que os aerossóis não biológicos. Devido a preocupações sobre a eficácia dos filtros dos respiradores para o *Mycobacterium tuberculosis* (TB), muitos estudos têm sido conduzidos usando bioaerossóis. Essas avaliações de filtro foram realizadas em uma variedade de condições de teste (fluxo, umidade), espécies biológicas representando várias formas (formato de esferas, de haste e de haste/esfera) e tamanhos, níveis de desempenho do filtro e meio filtrante variável (mecânico e eletreto; polipropileno e fibra de vidro). Esses experimentos²⁴⁻²⁹ não encontraram diferença significativa na filtração de aerossóis biológicos e aerossóis não biológicos com propriedades físicas semelhantes - em outras palavras, a eficiência da filtração é baseada no tamanho da partícula e não na natureza da origem da partícula.³⁰⁻³³ Partículas esféricas foram avaliadas em serem geralmente mais penetrante do que partículas em forma de bastão com diâmetro aerodinâmico equivalente a uma variedade de tamanhos de partículas. Estudos em que os pesquisadores ensaiaram os respiradores tipo peças faciais filtrantes N95 e P100 e cartuchos de certificação NIOSH com aerossóis de vírus viáveis - incluindo aerossóis de influenza H1N1 - indicaram que os respiradores capturam a influenza H1N1 e outros aerossóis de vírus, bem como ou melhores que a respectiva classificação N95 ou P100.³⁰⁻³¹ Outros estudos investigaram a eficiência de filtração dos filtros de respiradores ensaiados com partículas nanométricas. Esses estudos descobriram que respiradores certificados pela NIOSH mostraram eficiências de filtração semelhantes às esperadas com base em sua categoria de aprovação.^{34, 35} Onde as penetrações excederam ligeiramente 5%, e os resultados não foram estatisticamente significativamente maiores que 5%.³⁵

Sobrevivência de Microrganismos em Filtros

Outra área de interesse é a sobrevivência de microrganismos nos filtros dos respiradores. Isso pode afetar o armazenamento e procedimentos de manuseio. Vários estudos foram realizados sobre a sobrevivência nos filtros. Mais de 18 tipos de filtros de respiradores e cinco máscaras cirúrgicas foram estudadas usando vários tipos de microrganismos, seguidos de armazenamento em várias condições de umidade.³⁶⁻⁴⁰ Os filtros foram tipicamente carregados com os microrganismos em concentrações experimentais maiores do que aquelas tipicamente esperadas na maioria dos ambientes de trabalho.

Os filtros de polipropileno usados nesses estudos foram então verificados quanto à sobrevivência de microrganismos após o carregamento de 28 dias depois, dependendo do experimento. Esses estudos descobriram que havia organismos sobreviventes imediatamente após o carregamento e que sobreviveram por períodos variados, dependendo das condições de armazenamento do estudo. Normalmente o armazenamento em condições de alta umidade era o mais favorável para a sobrevivência a longo prazo. No entanto, estas condições de armazenamento não são típicas das práticas de armazenamento de respiradores na maioria dos programas de proteção respiratória. O armazenamento de peças faciais filtrantes usadas contra os bioaerossóis em sacos plásticos e que podem ser selados novamente podem ser inapropriados, pois os filtros podem ficar úmidos com o uso e o armazenamento vai manter o nível de umidade alto.

Um desses estudos procurou a migração do organismo para o interior do respirador do tipo peça facial filtrante e concluiu que respiradores podem ser reutilizados ao longo do tempo com pouco risco de contaminação interna, mesmo após uma semana, desde que o respirador tenha sido manuseado e armazenado com cuidado (manuseado através de componentes que não sejam o filtro, por exemplo, os elásticos).⁴⁰ Os pesquisadores descobriram uma contaminação interna por bactérias ambientais ocorrida devido ao manuseio (remoção da embalagem para uso).

Um estudo analisou dois filtros de alta eficiência com porcentagens variadas de celulose.³⁹ Esses filtros foram inoculados com *Stachybotrys atra* e armazenado em umidade relativa (UR) de até 100% por 86 dias. *S. atra* cresceu e produziu toxinas nesses filtros de celulose nas condições de alta umidade relativa. Novamente, essas condições não são típicas durante o uso normal do respirador e armazenamento.

Essas preocupações levaram alguns a afirmar que um filtro tradicional sem revestimento de nanopartículas por biocida poderia se tornar em um terreno fértil para um vírus ou agente bacteriano. Os estudos mencionados acima não apoiam essa alegação. Embora possa ser relativamente fácil de carregar um filtro com um biocida, é mais difícil determinar sua eficácia. Uma avaliação profunda dessa reivindicação precisaria ser feita. As reivindicações geralmente se referem à proteção do produto, como a deterioração microbiana, em vez da proteção do usuário. Muitos países exigem que uma reivindicação de eficácia do biocida do produto para proteger o usuário esteja em conformidade com regulamentos locais. Nos EUA, as reivindicações são regulamentadas pela Agência de Proteção Ambiental (EPA). Na Europa, as reivindicações devem estar em conformidade com o regulamento sobre produtos biocidas (UE) (528/2012). Se as reivindicações não foram aprovadas ou não estão em conformidade, elas podem ser inadequadas. Pouca pesquisa foi realizada em respiradores que atualmente reivindicam propriedades antimicrobianas.

Uma investigação de respiradores que incorporaram meios de filtro antimicrobianos-tratados constatou que não havia detectado nenhum efeito sobre a viabilidade de partículas penetrantes.⁴¹ Outro estudo encontrou uma diferença insignificante nas frações de organismos sobreviventes capturados em filtros não tratados e aqueles tratados com iodo e em condições ambientais semelhantes.⁴²

Ter o filtro tratado com um biocida pode ser benéfico apenas para prolongar a vida útil do filtro. Enquanto a maior parte do vírus depositado no filtro como resultado da respiração através do filtro, os bioaerossóis também podem ser depositados nas tiras, tampa da válvula de exalação (se houver), cliques nasais etc. Portanto, o cuidado ao manusear o respirador ainda deve ser tomado e um filtro tratado com biocida pode não impedir a propagação da doença pelo contato com esses componentes do respirador.

No geral, esses estudos sugerem uma consideração cuidadosa quanto ao manuseio do filtro, reutilização e descarte do respirador, especialmente onde o organismo pode se espalhar por contato. Medidas de precaução podem incluir o uso de luvas e lavar as mãos após o manuseio do respirador. Para organismos transmitidos apenas por inalação, o manuseio do respirador pode não ser crítico. Um pesquisador sugeriu que pode ser necessário um treinamento para usuários de respiradores para reconhecer quando as exposições exigiram o descarte imediato dos mesmos.⁴¹

Reaerossolização de Microrganismos Coletados nos Filtros dos Respiradores

Depois que uma partícula é coletada pela fibra, ela adere à fibra do filtro devido às forças de Van der Waals. Portanto, é provável que os filtros sejam bons coletores de pequenas partículas. Por outro lado, a reaerossolização é o processo pelo qual qualquer material depositado aericamente no filtro pode ser re-suspenso novamente no ar. Poderia ocorrer a hipótese se houvesse alto fluxo de ar de volta através do filtro como se o usuário tossisse ou espirrasse enquanto vestisse o respirador. Nesse sentido, um experimento usou três microrganismos e duas partículas substitutas [partículas de NaCl e látex de poliestireno (PSL)] de vários tamanhos variando de 0,6 µm a 5,10 µm.⁴³ Eles foram carregados em três modelos de respiradores do tipo peça facial de filtrante para particulado. A velocidade de reentrada foi de 300 cm/s. A reaerossolização foi significativa apenas para partículas de teste maiores (3 e 5 µm) no ar seco. Não havia reaerossolização quando os níveis de umidade relativa foram superiores a 35%. Esses autores concluíram que a reaerossolização da bactéria TB coletada e outras partículas com tamanho inferior a alguns microns são insignificantes nas condições encontradas de desgaste do respirador. Eles também especularam que as conclusões também eram válidas para outros filtros fibrosos.

Em um segundo estudo, os pesquisadores usaram partículas de 1µm de PSL para simular esporos de antraz.⁴⁴ Os dois modelos de respiradores do tipo peça facial filtrante foram carregados com aproximadamente 20 milhões de partículas. Os respiradores foram então jogados de uma altura de um metro em uma superfície rígida. A quantidade liberada variou de 0 a 0,5% e a liberação média mediu 0,16% e 0,29% para os dois modelos. Embora esse carregamento represente um grau de carregamento muito mais alto do que o esperado em ambientes típicos de trabalho, este estudo indicou que uma fração pequena, mas consistente, de partículas de 1 µm capturadas por um filtro pode ser liberada no ar. Estes resultados sugerem cautela ao manusear e descartar respiradores contaminados com esporos de antraz.

Seleção e Uso

Quando a proteção respiratória é necessária para exposições a bioaerossóis, o usuário deve selecionar um respirador para particulado certificado/aprovado de acordo com as recomendações do CDC, da OMS, da ANVISA ou das agências locais aplicáveis. Lembre-se que a classificação do filtro para partículas pela NIOSH não inclui vazamento no rosto - apenas penetração pelo filtro. Os padrões de desempenho europeus EN incluem um requisito de desempenho de vazamento interno total, no entanto, esses não são necessariamente bons indicadores de desempenho no local de trabalho. Portanto, o fator de proteção atribuído deve ser considerado para garantir o esperado da redução de exposição respiratória adequada para a aplicação pretendida.

Após a seleção de um respirador, um programa contínuo e efetivo de proteção respiratória, conforme especificado por autoridades locais, deve ser implementado. Isso inclui treinamento sobre os riscos respiratórios, bem como ensaio de vedação do respirador, manutenção, descarte etc. É claro que todos os respiradores devem ser usados de acordo com as Instruções de Uso aplicáveis.

Referências

1. Hinds, W.C.: *Aerosol Technology: Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles*. New York: John Wiley & Sons, 1999.
2. Lenhart, S.W., Seitz, T., Trout, D. and N. Bollinger. Issues affecting respirator selection for workers exposed to infectious aerosols: emphasis on healthcare settings. *Applied Biosafety*. 9(1):20-36; 2004.
3. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices*. ACGIH. 2009.
4. Blachere, F.M., Lindsley, W.G., Pearce, T.A., Anderson, S.E., Fisher, M., Khakoo, R., Meade, B.J., Lander, O., Davis, S., Thewlis, R.E., Celik, I., Chen, B., and D.H. Beezhold. Measurement of airborne influenza virus in a hospital emergency department. *Clinical Infectious Diseases*. 48:438-40; 2009.
5. Stelzer-Braid, S., Oliver, B.G., Blazey, A.J., Argent, E., Newson, T.P., Rawlinson, W.D. and E.R. Tovey. 2009. Exhalation of respiratory viruses by breathing, talking and coughing. *Journal of Medical Virology*. 81:1674-1679.
6. Tellier, R. Aerosol transmission of influenza A virus: a review of new studies. *J.R. Soc. Interface*. 6(Suppl 6): S783–S790; 2009.
7. Yu, I.T.S., Wong, T.W., Chiu, Y.L., Lee, N. and Y. Li. Temporal-spatial analysis of Severe Acute Respiratory Syndrome among hospital inpatients. *Clinical Infectious Diseases*. 40:1237-1243; 2005.
8. Yu, I.T.S., Li, Y., Wong, T.W., Tam, W., Chan, A.T., Lee, J.H.W., Leung, D.Y.C., and T. Ho. Evidence of airborne transmission of the Severe Acute Respiratory Syndrome Virus. *The New England Journal of Medicine*. 350(17): 1731-1739; 2004.
9. American Conference of Governmental Industrial Hygienists: *Bioaerosols Assessment and Control*, J. Macher (ed.), Cincinnati, OH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1999.
10. EN 132:1999. *Respiratory Protective Devices – Definitions of terms & pictograms*.
11. EN 529:2005. "A Guide to Respiratory Protective Equipment." 2010. Health and Safety Authority. www.hsa.ie.
12. American Industrial Hygiene Association: *Biosafety Reference Manual*, 2nd ed., P.A. Heinsohn, R.R. Jacobs, and B.A. Concoby (eds.), Fairfax, VA: American Industrial Hygiene Association, 1996.
13. Rengasamy, S., Miller, A., Eimer, B.C. and R.E. Shaffer. Filtration performance of FDA-cleared surgical masks. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*. 26:54-70; 2009.
14. Oberg, T. and L. Brosseau. Surgical mask filter and fit performance. *American Journal of Infection Control*. 36(4):276-282; 2008.
15. MacIntyre, C.R., Wang, Q., Rahman, B., Seale, H., Ridda, I., Gao, Z., Yang, P., Shi, W., Pang, X., Zhang, Y., Moa, A., and D.E. Dwyer. Efficacy of face masks and respirators in preventing upper respiratory tract bacterial colonization and co-infection in hospital healthcare workers. *Preventive Medicine*. 62:1-7; 2014.
16. Cole, E.C. and C.E. Cook: *Characterization of Infectious Aerosols in Health Care Facilities: An aid to Effective Engineering Controls and Preventive Strategies*. *American Journal of Infection Control*. 26:453-64; 1998.
17. Morawska L, Johnson GR, Ristovski ZD, Hargreaves, M, Mengersen K, Corbett S, Chao CYH, Li Y, and D. Katoshevski. Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *J Aerosol Sci* 40:256–269; 2009.
18. Stelzer-Braid, S., Oliver, B.G., Blazey, A.J., Argent, E., Newsome T.P., Rawlinson, W.D., and E. R. Tovey. 2009. Exhalation of Respiratory Viruses by Breathing, Coughing, and Talking. *J Med Virol*. 81:1674-1679; 2009.
19. Centers for Disease Control and Prevention. *Guidelines for Preventing the Transmission of Mycobacterium Tuberculosis in Health-care Facilities*. *MMWR Morb. Mortal Wkly. Rep.* 43 (RR-1—RR-13); 1994.
20. Fennelly, K.P. et al.: Cough-Generated Aerosols of Mycobacterium Tuberculosis: A New Method to Study Infectiousness. *Am. J. Resp. Crit. Care*. 169:604-609; 2004.
21. Lee, K.W. and B.Y.H. Liu. On the Minimum Efficiency and the Most Penetrating Particle Size for Fibrous Filters. *Air Pollution Control Association Journal*. 30(4): 337-381; 1972.
22. Heim, M., Mullins, B.J., Wild, M., Meyer, J., and G. Kasper: Filtration Efficiency of Aerosol Particles Below 20 Nanometers. *Aerosol Science & Technology* 39(8): 782 –789; 2005.
23. Reist, P.C., *Aerosol Science and Technology*, 2nd Edition. p. 324; 1992.
24. Chen, S.K., Vesley, D., Brosseau, L.M., and J. H. Vincent. Evaluation of single-use masks and respirators for protection of health care workers against mycobacterial aerosols. *Am. J. Infect. Control*. 22:65-74; 1994.
25. Brosseau, L.M., McCullough, N.V. and D. Vesley. Mycobacterial aerosol collection efficiency of respirator and surgical mask filters under varying conditions of flow and humidity. *Appl. Occup. Environ. Hyg.* 12(6):435-445; 1997.
26. McCullough, N.V., Brosseau, L.M. and D. Vesley. Collection of three bacterial aerosols by respirator and surgical mask filters under varying conditions of flow and relative humidity. *Ann. Occup. Hyg.* 41(6):677-690; 1997.
27. Qian, Y., Willeke, K., Grinshpun, S.A., Donnelly, J. and C.C. Coffey. Performance of N95 respirators: Filtration efficiency

for airborne microbial and inert particles. AIHA Journal. 59:128-132; 1998.

28. Willeke, K., Qian, Y., Donnelly, J., Grinshpun, S.A. and V. Ulevicius. Penetration of airborne microorganisms through a surgical mask and a dust/mist respirator. AIHA Journal. 57:348-355; 1996.

29. Richardson, A.W., Eshbaugh, J.P., Hofarce, K.C. and P.D. Gardner. Respirator Filter Efficiency Testing against Particulate and Biological Aerosols under Moderate to High Flow Rates. ECBC-CR-085; 2006.

30. Garner, P.D., Eshbaugh, J.P., Harpest, S.D., Richardson, A.W., and K.C. Hofacre. Viable viral efficiency of N95 and P100 respirator filters at constant and cyclic flow. J Occ. Environ. Hyg.10(10):564-572; 2013.

31. Harnish, D.A., Heimbuch, B.K., Husband, M., Lumley, A.E., Kinney, K., Shaffer, R.E., and J.D. Wander. Challenge of N95 filtering facepiece respirators with viable H1N1 influenza aerosols. Infect. Cont. Hosp. Ep. 34(5): 494-499; 2013.

32. Balazy, A., M. Taivola, A. Adhikari, S.K. Sivasubramani, T. Reponen and S.A. Grinshpun. Do N95 respirators provide 95% protection level against airborne viruses and how adequate are surgical masks. Am. J. Infect. Control. 34:51-57; 2006.

33. Eninger, R.M., Honda, T., Adhikari, A., Heinonen-Tanski, H., Reponen, T. and S. A. Grinshpun. Filter Performance of N99 and N95 Facepiece Respirators against Viruses and Ultrafine Particles. Ann. Occup. Hyg. 52(5):385-396; 2008.

34. Rengasamy, S., Eimer, B.C. and R.S. Shaffer. Comparison of Nanoparticle Filtration Performance of NIOSH-approved and CE-Marked Particulate Filtering Facepiece Respirators. Ann. Occup. Hyg. 53(2): 117-128; 2009.

35. Rengasamy, S., Verbofsky, R., King, W.P. and R. E. Shaffer. Nanoparticle Penetration through NIOSH-Approved N95 Filtering Facepiece Respirators. Journal of the International Society for Respiratory Protection. Vol. 24: 49-59; 2007.

36. Brosseau, L.M., McCullough, N.V., and D. Vesley Bacterial survival on respirator filters and surgical masks. J. Am. Biol. Saf. Assoc. 2:232-243; 1997.

37. Reponen, T.A., Wang, Z., Willeke, K. and S.A. Grinshpun. Survival of mycobacteria on N95 personal respirators. Infect. Control Hosp. Epidemiol. 20:237-241; 1999.

38. Wang, Z., Reponen, T.A. and K. Willeke. Survival of bacteria on respirator filters. Aerosol Sci. Tech. 30 (3), pp. 300-308; 1999.

39. Pasanen, A., Nikulin, M., Berg, S. and E. Hintikka. Stachybotrys atra corda may produce mycotoxins in respirator filters in humid environments. Am. Ind. Hyg Assoc. J. 55:62-65; 1994.

40. Johnson, B., Winters, D.R., Shreeve, T.R. and C.C. Coffey. Respirator filter reuse test using the laboratory simulant mycobacterium tuberculosis (H37RA strain). J. Am. Biol. Saf. Assoc. 3:105-116; 1998.

41. Eninger, R.M., Adhikari, A., Reponen, T., and S.A. Grinshpun. Differentiating Between Physical and Viable Penetrations When Challenging Respirator Filters with Bioaerosols. Clean 36(7), 615-621; 2008.

42. Wu, C.-Y., Lee, J.-H., Riemenschneider, L, and A.D. Theodore. Evaluation of the performance of iodine-treated biocide filters challenged with bacterial spores and viruses. Air Force Research Laboratory Report, AFRL-RX-TY-TR-2008-4511; 2008.

43. Qian, Y., Willeke, K. Grinshpun, S.A and J. Donnelly. Performance of N95 respirators: reaerosolization of bacteria and solid particles. Am. Ind. Hyg Assoc. J. 58:876-880; 1997.

44. Kennedy, N.J. and W.C. Hinds. Release of simulated anthrax particles from disposable respirators. J Occ. Environ. Hyg.1:7-10; 2004.

45. Holden, K.L. Unmasking leading to a healthcare worker Mycobacterium tuberculosis transmission. Journal of Hospital Infection. 100(4): e226-e232, 2018.

46. Memarzadeh F, Manning AP. Comparison of operating room ventilation systems in the protection of the surgical site. ASHRAE Transactions. 2002;108(2):3-15