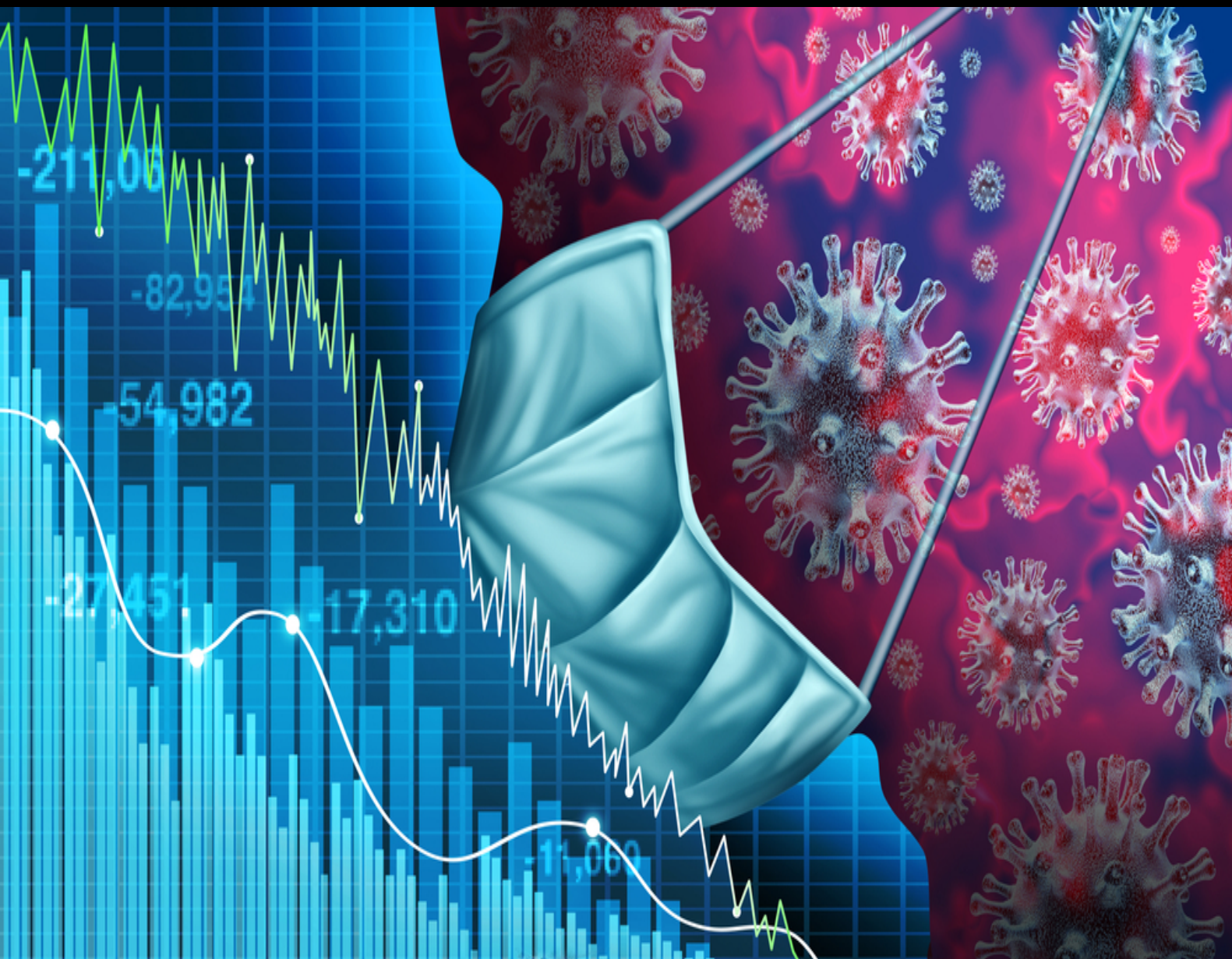


Technical info edition 16 June 2020



HEPA High efficiency particulate air

ICAO CART "Take off guidance"

DIP "cattiva respirazione "e stress psicologico

High efficiency particulate air (Hepa)

In tempi di coronavirus la domanda che si fanno i passeggeri e gli addetti del settore è se volare sia sicuro o si rischia di essere infettati da chi si potrebbe imbarcare se malato. A causa dell'emergenza sanitaria che ha decimato i collegamenti aerei in tutto il mondo, in tanti hanno rivolto l'attenzione alla cabina degli aerei, in particolare sull'aria respirata. I velivoli sono ambienti chiusi, dove si sta a stretto contatto con altri viaggiatori quasi tutti sconosciuti e dei quali, com'è ovvio, s'ignorano i loro trascorsi, i loro contatti e i loro viaggi. Così anche il minimo starnuto o il colpo di tosse fa scattare qualche preoccupazione. Vari studi, tra i quali non ultimo quello dell'Easa risalente al 2017 sostengono che la qualità dell'aria in cabina sia simile o persino meglio di quella registrata normalmente negli ambienti interni come gli uffici, le scuole, le abitazioni. Come mai?

Gli aerei, soprattutto quelli di ultima generazione, hanno filtri efficienti e moderni denominati High efficiency particulate air (Hepa) che sono identici a quelli degli ospedali e per questo riescono a catturare e a bloccare fino al 99,97% dei microbi presenti (dato IATA). Una percentuale che, sottolineano alcune compagnie, a bordo dei loro jet sale al 99,999% andando così a fermare virus piccoli anche di 0,01 micrometri di diametro. I coronavirus hanno una dimensione che va da 0,08 a 0,16 micrometri. Ad esempio su velivoli della serie Airbus A350 l'aria viene cambiata in cabina ogni 2-3 minuti. Tempistiche simili riguardano anche i velivoli Boeing serie 787.

Storicamente i filtri HEPA furono progettati negli anni '40 e furono usati nel Progetto Manhattan per prevenire la diffusione di contaminanti radioattivi nell'aria. Furono commercializzati negli anni '50 e il termine originale divenne un marchio registrato e un termine generico per filtri altamente efficienti. Nel corso dei decenni i filtri si sono evoluti per soddisfare le sempre più elevate esigenze di qualità dell'aria in vari settori ad alta tecnologia, come l'industria aerospaziale, l'industria farmaceutica, gli ospedali, l'assistenza sanitaria, i combustibili nucleari, l'energia nucleare e i microcircuiti elettronici (chip per computer).

Su tutti gli aerei progettati dopo il 1985 il sistema di riciclaggio dell'aria è attrezzato correntemente di questi dispositivi. I filtri HEPA sono molto efficaci per eliminare la polvere e gli agenti contaminanti trasportati dall'aria, cioè particelle, batteri e microbi di grandi dimensioni. La durata di vita normale di tali filtri corrisponde a un intervallo tra due controlli di tipo **C-Check**, cioè **da 12 a 18 mesi** di funzionamento. L'efficacia non diminuisce durante il funzionamento, a condizione che gli elementi siano sostituiti secondo gli intervalli richiesti.

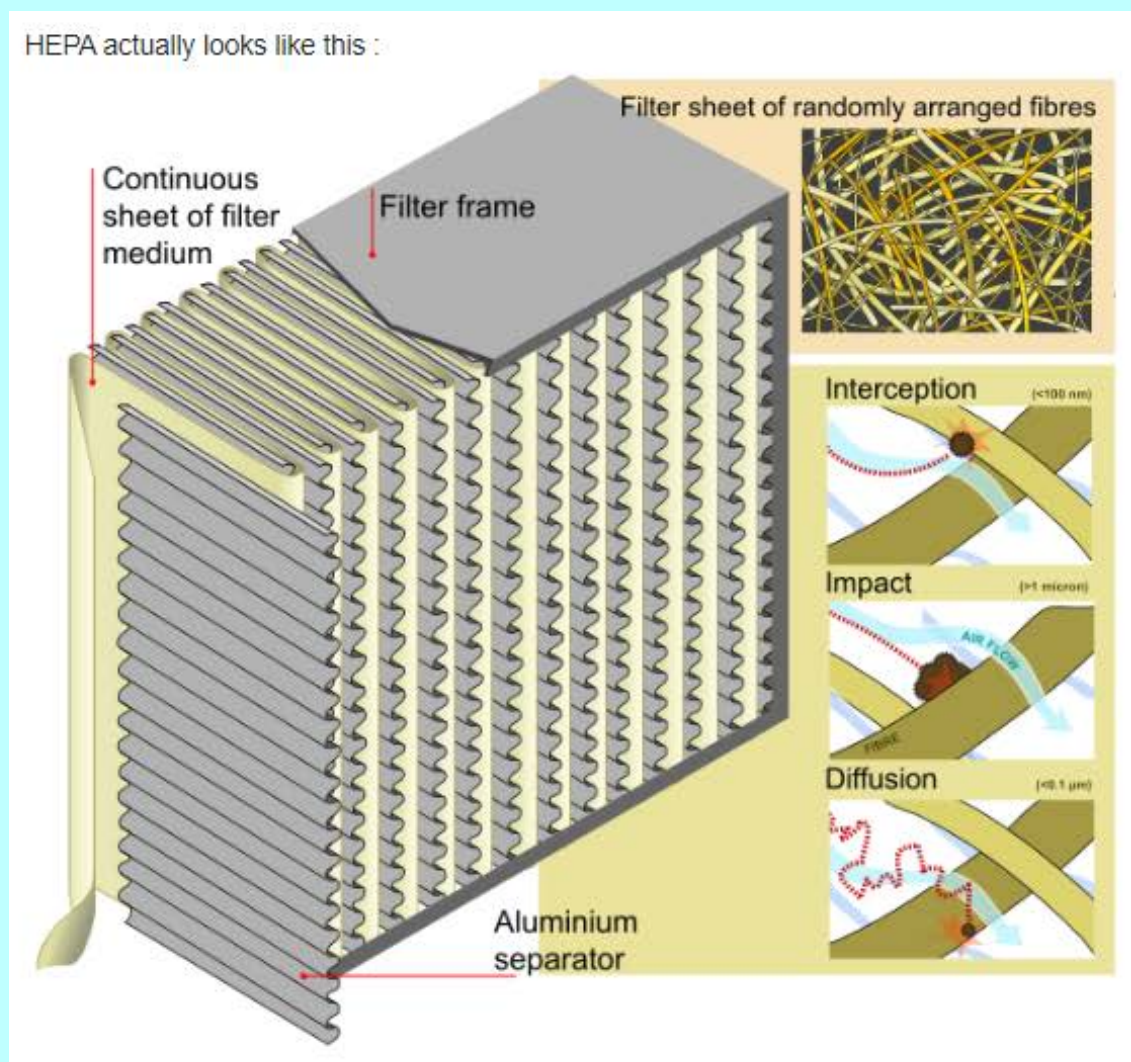


I filtri HEPA sono composti da un tappetino di fibre disposte in modo casuale. Sono tipicamente composte da fibra di vetro e hanno diametri compresi tra 0,5 e 2,0 micrometri. I fattori chiave che influenzano la funzione sono il diametro della fibra, lo spessore del filtro e la velocità frontale. Lo spazio aereo tra le fibre di un filtro HEPA è molto maggiore di 0,3 mm. L'ipotesi comune che un filtro HEPA si comporti come un setaccio dove possono passare particelle più piccole dell'apertura più grande non è corretta. A differenza dei filtri a membrana con questa dimensione dei pori, in cui particelle larghe quanto la più grande apertura o distanza tra le fibre non possono passare tra loro, i filtri HEPA sono progettati per colpire inquinanti e particelle molto più piccoli. Queste particelle sono intrappolate (si attaccano a una fibra) attraverso una combinazione dei tre meccanismi seguenti:

1° Intercettazione, in cui particelle che seguono una linea di flusso nel flusso d'aria entrano in un raggio di una fibra e vi aderiscono;

2° Impatto, in cui particelle più grandi non sono in grado di evitare le fibre seguendo i contorni curvi del flusso d'aria e sono costrette a inserirsi direttamente in una di esse; questo effetto aumenta con la diminuzione della separazione delle fibre e una maggiore velocità del flusso d'aria;

3° Diffusione, un meccanismo di potenziamento che è il risultato della collisione con molecole di gas da parte delle particelle più piccole, in particolare quelle con diametro inferiore a 0,1 μm , che sono quindi impediti e ritardati nel loro percorso attraverso il filtro; questo comportamento è simile al moto browniano e aumenta la probabilità che una particella venga fermata anche con velocità inferiori del flusso d'aria (la portata nominale standard viene solitamente specificata intorno ai 300 Pa).



La diffusione predomina al di sotto della dimensione delle particelle con diametro di 0,1 mm. Impatto e intercettazione predominano sopra 0,4 mm. Nel mezzo, vicino alla dimensione delle particelle più penetrante (MPPS) 0,3 mm, sia la diffusione che l'intercettazione sono relativamente inefficienti. Poiché questo è il punto più debole delle prestazioni del filtro, le specifiche HEPA utilizzano la ritenzione di queste particelle per classificare il filtro. I filtri HEPA fanno parte della categoria dei cosiddetti filtri assoluti, a cui appartengono anche i filtri ULPA (Ultra Low Penetration Air).

Il termine filtro assoluto è giustificato dal fatto che i filtri HEPA e ULPA hanno un' elevata efficienza di filtrazione. In particolare, i filtri HEPA presentano un'efficienza di filtrazione compresa tra l'85% (H10) e il 99,995% (H14), mentre i filtri ULPA presentano un'efficienza di filtrazione tra il 99,9995% (U15) e il 99,999995% (U17).La valutazione del mezzo filtrante presenta un indice di minor efficienza o massima penetrazione, per una specifica dimensione delle particelle. La certificazione della classe si basa sulle prove richieste dalla normativa EN 1822 e sono indicate nelle seguenti 5 classi (da H10 ad H14) con caratteristiche prestazionali crescenti.

Tratto dalla documentazione "Aircraft Cabin Air Filtration and Related Technologies:Requirements, Present Practice and Prospects (Susan Michaelis)" si evince che i costruttori Aeronautici abbiano definito un determinato numero di filtri dell'aria di ricircolo in funzione del tipo di aeromobile .Alcuni campioni sono riportati nella tabella di seguito elencata .I circuiti di ventilazione, negli anni , hanno aumentato il numero crescente di filtri nel tentativo di migliorare la qualità dell'aria di ricircolo, di ridurre quella fornita dai motori e quindi diminuire il consumo di carburante . A conclusione della disamina sul

Classe	Efficienza	Penetrazione
E10	> 85 %	---
E11	> 95 %	---
E12	> 99,5 %	---
H13	> 99,95 %	≤ 0,05
H14	> 99,995 %	≤ 0,005

ULPA-Filter [modifica | modifica wikitesto]

Classe	Efficienza	Penetrazione
U15	> 99,9995 %	≤ 0,0005
U16	> 99,99995 %	≤ 0,00005
U17	> 99,999995 %	≤ 0,000005

Table 2 Relationship of filter numbers to maximum passenger carrying capability		
Aircraft type	Maximum number of passengers [12, 13]	No of filters [14]
Airbus A300-600/A310	298/247	3
Airbus A318/A319/A320/A321	117/134/164/199	2
Airbus A330/A340	From 293 for A330-200 up to 419 for A340-600	4 (8 on extended range ones)
Boeing 737 -300, -500, -600, -700	Up to 149	1
Boeing 737 -400, -800, -900	Up to 189	2
Boeing 747-400	Up to 524 in 2 class layout	10
Boeing 757	228 on the -200 280 on the -300	2
Boeing 767	Up to 375	2
Boeing 777	Up to 550	8
DC-10/MD-11	Up to 410	1

funzionamento dei filtri HEPA è importante notare che sono progettati per arrestare in modo efficace particelle molto fini, **ma non filtrano i gas e le molecole di odore**. Le circostanze che richiedono la filtrazione di composti organici volatili, vapori chimici, odori di sigarette, animali domestici e / o flatulenza richiedono l'uso di un filtro a carbone attivo (carbone) anziché o in aggiunta a un filtro HEPA.



ICAO CART "*TAKE OFF GUIDANCE*"

L'impatto della pandemia della coronavirus (COVID-19) sul trasporto aereo globale è senza precedenti. Gli aeroporti hanno registrato un calo del -28,4 per cento dei volumi di traffico globale di passeggeri nel primo trimestre del 2020, equivalente a una riduzione di 612 milioni di passeggeri in termini assoluti. Questi volumi (traffico nazionale e internazionale) dovrebbero diminuire del -50,4 per cento per il 2020 nel suo complesso rispetto ai dati del 2019. L'ICAO stima che entro la fine del 2020, l'impatto di COVID-19 sul traffico passeggeri di linea internazionale potrebbe raggiungere riduzioni fino al 71% della capacità dei posti e fino a 1,5 miliardi di passeggeri a livello globale. Le compagnie aeree e gli aeroporti subiscono una potenziale perdita di entrate rispettivamente fino a 314 miliardi di USD e 100 miliardi di USD, per il 2020. Con l'aiuto e la guida della comunità delle parti interessate dell'aviazione civile, l'ICAO raccomanda un approccio graduale per consentire il ritorno sicuro ai viaggi aerei nazionali e internazionali ad alto volume di passeggeri e merci. L'approccio introduce una serie fondamentale di misure per formare un protocollo di base sulla sicurezza della salute aerea per proteggere i passeggeri del trasporto aereo e i lavoratori del trasporto aereo da COVID-19. Queste misure consentiranno la crescita dell'aviazione globale man mano che si riprende dall'attuale pandemia. Tuttavia è importante riconoscere che ogni fase di tale recupero avrà bisogno di una ricalibrazione di queste misure a sostegno dell'obiettivo comune, che è quello di consentire il trasporto aereo in sicurezza, di integrare nuove misure di sanità pubblica nel sistema di trasporto aereo, nonché sostenere la ripresa e la crescita economica. Il lavoro deve riconoscere la necessità di ridurre il rischio per la salute pubblica pur essendo sensibile a ciò che è operativamente possibile per compagnie aeree, aeroporti e altri interessi nel settore dell'aviazione. Il Consiglio dell'ICAO ha pubblicato il 1 giugno 2020 una nuova relazione e raccomandazioni volte a riavviare il sistema di trasporto aereo internazionale e ad allinearne la ripresa globale. La relazione COVID-19 e le linee guida sono state elaborate dalla Task Force Recovery (Aviation Task Force) del Consiglio (CART). Il lavoro mira a fornire una guida pratica e allineata ai governi e agli operatori del settore al fine di riavviare il settore del trasporto aereo internazionale e riprendersi dagli impatti di COVID-19 su base globale coordinata. Le raccomandazioni e le linee guida del CART saranno costantemente riviste e

aggiornate sulla base dei più recenti consigli medici e operativi e intendono armonizzare e non sostituire le tabelle di marcia per il recupero di COVID-19 attualmente stabilite da Stati, Regioni o gruppi industriali. Sono stati sviluppati attraverso ampie consultazioni con paesi e organizzazioni



regionali e con importanti consigli dell'Organizzazione mondiale della sanità e dei principali gruppi del settore dell'aviazione, tra cui la International Air Transport Association (IATA), Airports Council International (ACI World), Civil Air Navigation Organizzazione dei servizi (CANSO) e Consiglio internazionale di coordinamento delle associazioni delle industrie aerospaziali (ICCAIA). Il presidente della CART, Ambasciatore Philippe Bertoux, rappresentante della Francia presso il Consiglio dell'ICAO, ha osservato che le linee guida della CART avevano lo scopo di informare, allineare e progredire le roadmap di recupero COVID-19 nazionali, regionali e specifiche del settore attualmente in corso di attuazione, ma non per sostituirle. "Queste linee guida faciliteranno la convergenza, il riconoscimento reciproco e l'armonizzazione delle misure relative al COVID-19 dell'aviazione in tutto il mondo. Hanno lo scopo di supportare il riavvio e il recupero dei viaggi aerei globali in modo sicuro, protetto e sostenibile. "Per essere efficaci, dobbiamo adottare un approccio stratificato e soprattutto basato sul rischio. Le misure saranno implementate o rimosse in base alle necessità sulla base dell'ampia gamma di fattori medici e di altro genere che saranno in gioco ", I paesi e gli operatori hanno bisogno sia dell'autonomia che della certezza mentre agiscono per far volare di nuovo il mondo", ha continuato Bertoux, "e le linee guida CART sono quindi progettate per servire in entrambe queste capacità come riferimento comune, pur rimanendo adattabili. Questo deve essere inteso come un tipo di "orientamento vivente" che verrà continuamente aggiornato sulla base delle più recenti valutazioni del rischio mentre monitoriamo i progressi e riconnettiamo il mondo ". Il rapporto del CART contiene un'analisi situazionale dettagliata e principi chiave supportati da una serie di raccomandazioni incentrate su obiettivi di salute pubblica, sicurezza e protezione dell'aviazione e ripresa economica dell'aviazione.

Il riavvio e il ripristino sono supportati al meglio da un approccio internazionale basato su 10 principi chiave:

- Protect people: harmonized but flexible measures;
- Work as one aviation team and show solidarity;
- Ensure essential connectivity;
- Actively manage safety-, security- and health-related risks;
- Make aviation public health measures work with aviation safety and security systems; Strengthen public confidence;
- Distinguish restart from recovery;
- Support financial relief strategies to help the aviation industry;
- Ensure sustainability;
- Learn lessons to improve resilience.



Member Resource



CART

COUNCIL AVIATION RECOVERY TASK FORCE

REPORT

La ripresa di maggiori volumi di trasporto aereo di passeggeri dipenderà da una serie di fattori, tra cui le principali linee guida delle agenzie di sanità pubblica (guidate dai livelli di rischio di viaggio), le restrizioni e i requisiti di viaggio governativi, la fiducia dei passeggeri e la capacità operativa del vettore aereo e dell'aeroporto. Un approccio basato sul rischio consentirà la transizione tra le fasi delle operazioni di riavvio e l'adeguamento delle misure di mitigazione basate sul rischio, pur riconoscendo che potrebbe essere necessario tornare alle fasi precedenti. L'obiettivo è massimizzare la coerenza e sviluppare criteri per la comunicazione dei dati e i processi di monitoraggio a supporto della valutazione e della progressione verso le fasi successive. Al momento non è possibile fornire alcuna specificità di tempistica tra queste fasi. Al momento della pubblicazione di questo documento, la maggior parte dell'aviazione commerciale passeggeri è nella fase 0 o nella fase 1.

Fase 0:

Una situazione con restrizioni di viaggio e solo un movimento minimo di passeggeri tra principali aeroporti nazionali e internazionali

Fase 1:

Aumento iniziale del viaggio passeggeri. Questa fase iniziale coinciderà con relativamente bassi volumi di passeggeri, consentendo alle compagnie aeree e agli aeroporti di introdurre pratiche di sanità pubblica per l'aviazione adeguate al volume. Ci saranno sfide significative mentre ogni comunità di stakeholder si adatta sia all'aumento della domanda sia alle nuove sfide operative associate alla mitigazione del rischio. Le misure sanitarie per i viaggi richieste negli aeroporti dovranno corrispondere almeno a quelle di altri modi di trasporto e infrastrutture locali.

Fase 2:

Man mano che le autorità sanitarie esaminano l'applicabilità delle misure sulla base di criteri medici riconosciuti, il volume dei passeggeri continuerà ad aumentare. Diverse misure richieste nelle fasi 0 e 1 possono essere revocate. Le misure sanitarie per i viaggi richieste negli aeroporti dovranno corrispondere a quelle di altri modi di trasporto e infrastrutture locali.

Fase 3:

Può verificarsi quando l'epidemia di virus è stata sufficientemente contenuta in una massa critica delle principali destinazioni in tutto il mondo, come determinato dalle autorità sanitarie. La riduzione dei livelli di allerta sanitaria nazionale e il relativo allentamento delle restrizioni di viaggio saranno fattori chiave. Le misure di mitigazione del rischio continueranno a essere ridotte, modificate o verranno interrotte in questa fase. Potrebbero non esserci interventi farmaceutici efficaci (ad es. Terapie o vaccini) comunemente disponibili durante la fase 3, ma la tracciabilità e i test di contatto dovrebbero essere prontamente disponibili. Fino a quando non saranno disponibili interventi farmaceutici specifici ed efficaci, gli Stati potrebbero dover continuare ad allentare o ripristinare le misure di salute pubblica e sociali durante la pandemia.

Fase 4:

Inizia quando interventi farmaceutici specifici ed efficaci sono prontamente disponibili nella maggior parte dei paesi. Potrebbe esistere una serie di misure / mitigazioni residue che potrebbero essere mantenute, sebbene anche queste dovrebbero essere sottoposte a un processo di revisione periodica.

Nota: non ci sono limiti fissi in queste fasi e la transizione tra di essi può avvenire in entrambe le direzioni.

Questo contenuto è integrato dallo speciale documento "Take off " del rapporto che **contiene le linee guida per le misure di mitigazione del rischio** per la salute pubblica e per le 4 aree relative ad aeroporti, aeromobili, equipaggio e merce aerea. Per la visione completa delle indicazioni per aerea tematica fare riferimento ai moduli pubblicati all'indirizzo dalla pagina ICAO <https://www.icao.int/covid/cart/Pages/CART-Take-off.aspx>

Guidance for Air Travel through the COVID-19 Public Health Crisis

The [CART Take-off guidance](#) includes a section on Public Health Risk Mitigation Measures, in addition to four operational modules relating to:



Mascherine : " cattiva respirazione "e stress psicologico

Con l'allentamento delle restrizioni della fase 2, la stragrande maggioranza delle aziende sta mettendo a disposizione dei propri dipendenti dispositivi di protezione delle vie respiratorie, richiedendo di indossarli durante l'intero turno di lavoro. Dopo il lockdown per il coronavirus, la ripartenza è quindi scandita dall'uso obbligatorio delle mascherine che secondo la diversa tipologia, possono assicurare differenti livelli di protezione.

Uno dei pochi modi efficaci per bloccare il virus, oltre al distanziamento sociale, è legato proprio all'uso delle stesse, strumento sempre più prezioso nella vita di tutti i giorni. Dopo mesi di utilizzo, però, in molti si sono accorti che un uso prolungato può provocare fastidiosi effetti collaterali legati soprattutto ad arrossamenti della pelle, problemi respiratori e dolore intorno alle orecchie a causa dei lacci che le stringono per far aderire bene le mascherine sul viso. Soprattutto nel caso delle mascherine con la valvola (Ffp2 ed Ffp3) la respirazione potrebbe farsi più affannosa specialmente durante quelle attività che richiedono più ossigeno. Esse costituiscono una barriera perché rallentano lo scambio tra l'anidride carbonica espirata e l'ossigeno esterno e in condizioni di calma o di una leggera attività fisica, questa limitazione non rappresenta un pericolo perché il corpo riesce ad adattare il ritmo respiratorio. Al contrario, quando si eseguono lavori fisici gravosi o si pratica un'attività che necessita di maggiore ossigeno, ci potrebbero essere dei rischi legati all'anidride carbonica che rimane "intrappolata" nella mascherina e la quantità di ossigeno respirata si riduce. Se questa condizione si potrae a lungo, si può assistere alla comparsa di sintomi come mal di testa, giramenti di testa, confusione e, nei casi più gravi, anche svenimento.

In commercio sono disponibili sia mascherine di tipo chirurgico, sia diverse classi di dispositivi di protezione (DPI) delle vie respiratorie. Se parliamo di mascherine chirurgiche, cioè quelle che di solito si utilizzano in ambito medico e che, con l'emergenza coronavirus, sono state equiparate ai DPI, sappiamo che hanno una capacità filtrante pressoché totale verso l'esterno (superiore al 95% per i batteri) ma una ridotta efficienza filtrante verso chi le indossa, di circa il 20%, principalmente a causa della scarsa aderenza al volto e delle caratteristiche del tessuto di cui sono costituite. Queste mascherine hanno quindi una resistenza respiratoria molto più bassa e certamente non paragonabile a quella delle mascherine a più alta efficienza filtrante. Se invece prendiamo in esame le mascherine FFP2 e FFP3, che hanno capacità filtranti medio-alte (di almeno il 94 e 99% rispettivamente) e perdite verso l'interno di circa l'8 e 20, ci troviamo davanti a una diversa situazione. Anche in questo caso va però fatta una differenziazione perché quelle con valvola hanno una ridotta efficienza filtrante in uscita, non superiore al 20%. Al contrario, le mascherine FFP2 (**indicate anche con la sigla N95**) e FFP3 senza valvola hanno un'importante capacità protettiva sia per i flussi respiratori in entrata, sia in uscita, pressoché totale nel caso delle FFP3.

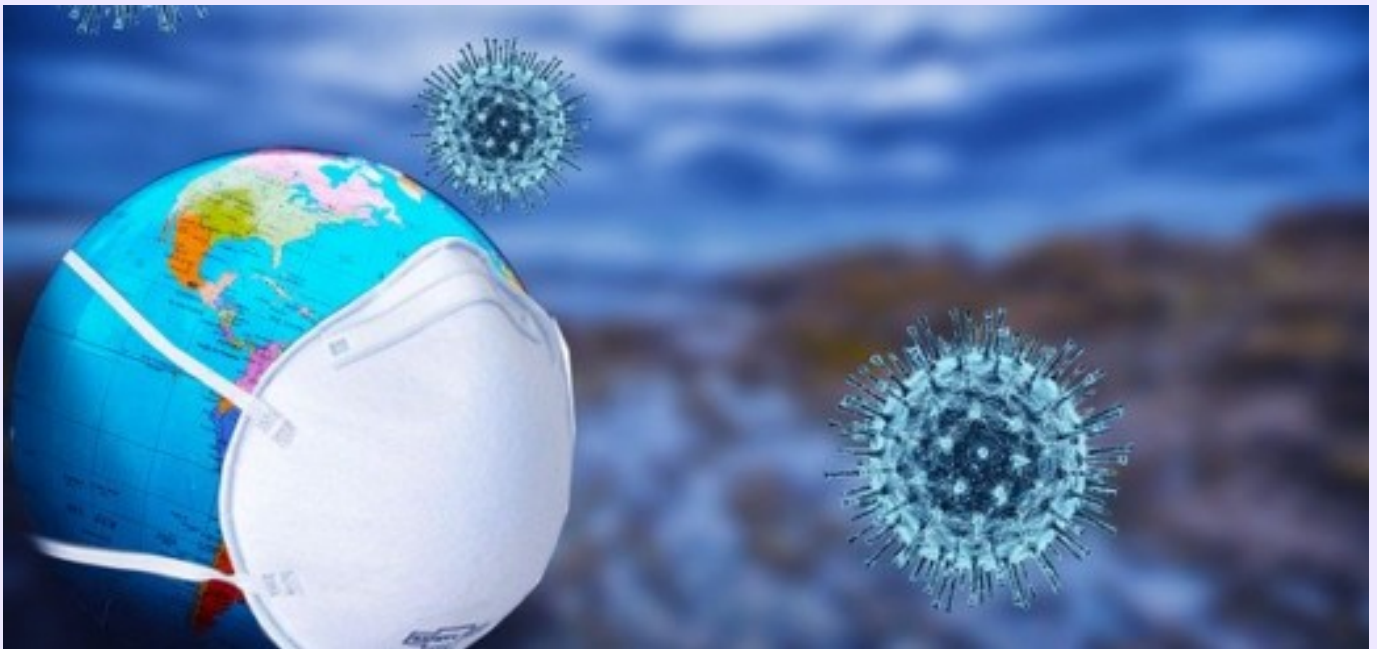


In generale, possiamo quindi dire che le mascherine FFP2 sono ben tollerate dalla maggior parte dei soggetti mentre le FFP3 possono esserlo meno poiché l'aria espirata si accumula al loro interno, inumidendo il materiale delle stesse e rendendo più complicata la respirazione. Inoltre, progressivamente, tenderà a salire la concentrazione di anidride carbonica dell'aria inspirata. Da questa deriva la sensazione di affanno e fame d'aria legata a un uso prolungato. A questo punto la domanda che gli utilizzatori si pongono è : qual è la risposta del nostro corpo all'uso di una mascherina per tante ore? E cosa può cambiare in termini di affaticamento o ossigenazione? **E' bene sottolineare il fatto che le considerazioni , indicazioni e gli studi di seguito riportati non fanno riferimento alla specificità delle attività svolte dai crew members durante le varie fasi del servizio. Attualmente non risultano studi approfonditi in merito .**

Qualcuno teorizza dunque che le mascherine causino “ipercapnia” (aumento della CO₂ nel sangue) e “ipossia” (riduzione dell'O₂ nel sangue). Per quanto riguarda l'ipercapnia, è del tutto inverosimile che la CO₂ possa accumularsi in quantità tali da causare “acidosi respiratoria”. Questo gas è infatti circa 25 volte più diffusibile dell'ossigeno e non ha nessuna difficoltà ad essere eliminato. Né le “maglie” di una mascherina hanno alcuna possibilità fisica di trattenere una molecola piccola e volatile come la CO₂ (rife Roberge RJ, Kim JH, Benson SM. Absence of consequential changes in physiological, thermal and subjective responses from wearing a surgical mask. Respir Physiol Neurobiol. 2012 Apr 15;181(1):29-35. doi: 10.1016/j.resp.2012.01.010.)

Prendendo invece in considerazione l'ipossia, cioè la carenza di O₂, alcune recenti ricerche condotte con l'uso di mascherine durante sforzo non hanno evidenziato nessuna ipossia sistemica né riduzioni dell'ossigenazione cerebrale (rife Mulliri G, Sainas G, Magnani S, Roberto S, Ghiani G, Mannoni M, Pinna V, Willis SJ, Millet GP, Doneddu A, Crisafulli A. Effects of exercise in normobaric hypoxia on hemodynamics during muscle metaboreflex activation in normoxia. Eur J Appl Physiol. 2019 May;119(5):1137-1148. doi: 10.1007/s00421-019-04103-y.)

D'altronde questi dispositivi (mascherine collegate a raccoglitori di gas) vengono comunemente utilizzati in ambiente medico per testare la capacità fisica di atleti ma anche di malati con varie patologie, ma in letteratura non sono riportati problemi di ipossia. Insomma, sembra proprio che la sola mascherina non sia in grado di causare deficit di O₂ nel nostro organismo.



Ma allora perché chi usa le mascherine spesso riporta la sensazione soggettiva di “respirare male”? Senza addentrarci in complicate spiegazioni di fisiopatologia respiratoria applicata all'esercizio, per le quali ci sono specifici test specialistici (rife Cerretelli Paolo. Manuale di fisiologia dello sport e del lavoro muscolare. II edizione (1985). Società Editrice Universo – Roma.) **esistono alcuni effetti che potenzialmente possono causare una sensazione di “cattiva respirazione” con l'uso delle mascherine.**

1) il primo è l'aumento di quello che viene chiamato “spazio morto respiratorio”, il quale è il volume di aria che non partecipa attivamente agli scambi gassosi. Per meglio intenderci, è la quantità di aria che durante l'inspirazione non raggiunge i polmoni ma rimane nelle vie aeree (bronchi, trachea, faringe, naso, bocca). Quest'aria non può quindi arrivare agli alveoli polmonari, dove avvengono materialmente gli scambi gassosi. Questa quantità, in condizioni del tutto fisiologiche, rappresenta da sola circa 1/3 dell'aria inspirata (150 ml dei 500 che normalmente si inspirano con un singolo atto respiratorio). Le mascherine chirurgiche aggiungono un ulteriore spazio morto di circa 10-20 ml, a seconda della grandezza e dei modelli. Questa quantità è irrilevante ai fini respiratori. Per meglio spiegare l'innocuità del fenomeno consideriamo un'attività divertente come lo snorkeling. I boccali da snorkeling aggiungono uno spazio morto respiratorio che può arrivare a circa 200 ml, che è una quantità di molto superiore a quello prodotta da qualunque tipo di mascherina chirurgica o di altro modello. Tuttavia l'esperienza ci dice che si possa tranquillamente nuotare con questi dispositivi senza temere alcun tipo di conseguenza per la respirazione (rife Pinna M, Milia R, Roberto S, Marongiu E, Olla S, Loi A, Ortu M, Migliaccio GM, Tocco F, Concu A, Crisafulli A. *Assessment of the specificity of cardiopulmonary response during tethered swimming using a new snorkel device. J Physiol Sci.* 2013 Jan;63(1):7-16. doi: 10.1007/s12576-012-0226-7). **L'unico effetto può essere quello di farci aumentare per via riflessa la ventilazione e quindi causare una transitoria “ipocapnia”** (che significa riduzione della CO₂), che è l'esatto opposto dell'accumulo di CO₂ ipotizzato. I meccanismi fisiologici di questo fenomeno sono abbastanza complicati da descrivere nel dettaglio, ma la conseguenza può essere paragonata a ciò che succedeva se da bambini si giocava a far girare la testa respirando velocemente. Il risultato era una transitoria ipocapnia con conseguente vasocostrizione cerebrale, che è poi la responsabile del “giramento di testa”.

2) il secondo fenomeno è dovuto al fatto che la quantità di vapor acqueo emesso con la respirazione profonda indotta dallo sforzo possa alla lunga imbibire la mascherina. Questo può causare una certa resistenza al flusso respiratorio, con conseguente maggior impegno dei muscoli respiratori. In pratica si ha la sensazione di “respirare male”. Questo fenomeno può essere fastidioso, ma è anche esso del tutto innocuo e non può causare un aumento della CO₂, o una riduzione della O₂ e neppure acidosi.

3) la terza conseguenza sarebbe che l'uso delle mascherine possa causare l'insorgenza di tumori per il loro effetto “acidificante” sull'organismo. Esistono un sacco di categorie di persone che per motivi lavorativi sono obbligate ad usare questi dispositivi per diverse ore al giorno (medici, infermieri, operai in ambienti polverosi, persone immunodepresse) ed intere popolazioni (i giapponesi per esempio) che le usano praticamente da sempre. Non risulta che nessuno studio abbia mai trovato una maggiore incidenza di patologie tumorali legate all'uso di mascherine in questi gruppi e popolazioni. Al contrario, i giapponesi sembrano essere una delle popolazioni più longeve del mondo.



Di seguito a ciò che sino ad ora è stato sulla risposta del corpo umano all'uso di una mascherina termini di affaticamento o ossigenazione si riportano anche i risultati di uno studio sull'argomento "Valutazione obiettiva dell'aumento della resistenza alla respirazione nei dispositivi N95 su soggetti umani" prodotta dall'università di Singapore nel 2011.

Objective Assessment of Increase in Breathing Resistance of N95 Respirators on Human Subjects

HEOW PUEH LEE¹* and DE YUN WANG²

¹Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore, 9 Engineering Drive 1, Singapore 117576, Singapore; ²Department of Otolaryngology, Yong Loo Lin School of Medicine, National University of Singapore, 5 Lower Kent Ridge Road, Singapore 119260, Singapore

Received 27 March 2011; in final form 10 June 2011; published online 5 September 2011

Face masks or respirators are commonly worn by medical professionals and patients for protection against respiratory tract infection and the spread of illnesses, such as severe acute respiratory syndrome and pandemic influenza (H1N1). Breathing discomfort due to increased breathing resistance is known to be a problem with the use of N95 respirators but there is a lack of scientific data to quantify this effect. The purpose of this study was to assess objectively the impact of wearing N95 face masks on breathing resistance. A total of 14 normal adult volunteers (seven males and seven females) were recruited in this study. Nasal airflow resistance during inspiration and expiration was measured using a standard rhinomanometry and nasal spirometry. A modified full face mask was produced in-house in order to measure nasal resistance with the use of N95 (3M 8210) respirators. **The results showed a mean increment of 126 and 122% in inspiratory and expiratory flow resistances, respectively, with the use of N95 respirators. There was also an average reduction of 37% in air exchange volume with the use of N95 respirators. This is the first reported study that demonstrates quantitatively and objectively the substantial impairment of nasal airflow in terms of increased breathing resistance with the use of N95 respirators on actual human subjects.**

Keywords: flow resistance; H1H1; N95 respirators; rhinomanometry; SARS; spirometer

INTRODUCTION

Face masks or respirators are important components of personal protective equipment for medical personnel and workers in atmospherically hostile environment. This is especially true for healthcare workers who need to interact with patients inflicted by transmitted diseases such as the severe acute respiratory syndrome outbreak that occurred in March 2003 (Seto *et al.*, 2003). Many national and international health agencies also recommended the use of face masks or respirators for the recent influenza A (H1N1) pandemic (Cowling *et al.*, 2010). These healthcare workers have to wear the respirators for up to 12 h and this may induce physiological stress

on them (Farquharson and Baguley, 2003). In another reported study by Lim *et al.* (2006), of 212 health-care workers who participated in the survey, 37.3% reported headaches when they wore the respirators. Farmers wearing face mask while spraying pesti-cides in warm environments were also reported to experience heat stress on the body due to increased temperature and humidity within the face mask (Hayashi and Tokura, 2004).

Many reported studies were done on the effectiveness of various respirators but very few of them focused on the discomfort level of their use. There were reported studies on the effects of wearing N95 respirators and surgical face masks on thermal stress and subjective sensations of the wearer (Li *et al.*, 2005). Although comfort level is subjective, there are few measurements that can be used to correlate with this comfort level. For example, a drier and cooler microclimate leads to better comfort

*Author to whom correspondence should be addressed.
Tel: +6565162205; fax: 6567791459;
e-mail: mpeleehp@nus.edu.sg

(Li *et al.*, 2005). A higher expiratory and inspiratory resistance reduces the ease of breathing and thus causes discomfort. A lower airflow volume will mean that the wearer may need to inhale harder to get the same amount of fresh air required. In a recent study by Roberge *et al.* (2010) using an automatic and metabolic simulator as a human surrogate, inhalation and exhalation resistances were found to increase by 0.43 and 0.23 mm of H₂O pressure and it was concluded that increased exhaled moisture due to the wearing of respirators would not add significantly to the breathing resistance.

In this study, we conducted a series of experiments using typical equipment such as rhinomanometry and spirometer to assess objectively the increased breathing resistance with the use of N95 respirators on actual human subjects instead of simulators or human surrogates. The effect on air exchange volume due to the wearing of respirators will also be examined.

MATERIALS AND METHODS

Fourteen Asian healthy human subjects (seven males and seven females) aged from 18 to 25 years participated in this study. They were all nasal symptom-free and had not taken any medication for at least 1 month before entering the study. Routine rhinological examination was performed to exclude recent infection and nasal deformity (e.g. obvious septal deviation). Before the experiment, the subjects were briefed on the nature, purpose, methods and risk of the study. They had the right to question any part of the procedure and to withdraw from the experiment at any point of the experiment. All subjects involved were on a voluntary basis and the study was approved by the institutional review board of the National University of Singapore.

In the experiment, we used the N95 (3M 8210) respirators (3M Korea Limited, Seoul, Korea). A fit test was performed during the screening visit (1 week prior) in order to ensure that each subject had his/her own personal respirator with an adequate size and was well fitted without leaking air. The subjects were briefed on the manufacturer's instructions of wearing the respirator before the start of the experiment.

The measurement of nasal airway resistance was performed using a rhinomanometer NR6-2 (GM Instruments, Glasgow, UK). Nasal airflow was collected by a mask, which must form an airtight seal around the face and was then measured by a pneumotachograph. Resistance is calculated as a total pressure/flow (Pascal seconds per cubic meter). This technique is known as the posterior method and it does not interfere with the nasal passages. The original mask of the rhinomanometer is designed with air

cushion to allow the user's face to be fitted nicely. This is to prevent any leakages, which will affect the readings. However, this original mask will be unable to serve its function when the user also wears an N95 respirator as the original mask for the equipment will be too small to cover the face with N95 respirator. Therefore, we designed a modified full face mask modified from the face mask of a typical facial sauna steamer so as to provide proper fitting even when the user wore the N95 respirator. Holes of appropriate sizes were drilled at the bottom of the acrylic 'Face mask' to attach the tubes with sealant from the rhinomanometer. The appropriate thickness of cushion strip was attached onto the edges to serve the function of the air cushion from the original mask, and a good seal was achieved by the restraining rubber band over the head, reinforced by negative pressure during inhalation. The remaining gaps at the bottom of the Face mask were covered up by plasticine. The original mask and the modified full face mask for the rhinomanometer are shown in Fig. 1.

A rhinospirometer (GM Rhinospirometer PC Linked model NV1) (GM Instruments) is an apparatus used to measure the volume of air inspired and expired through the nose. The spirometer records the amount of air that is breathed in and out over a specified period of time. Similarly, the modified full face mask was used to replace the spirometer's nose tube to measure the total airflow from the user instead of individual readings from the left and right nostrils. The study subjects were required to breathe through the nose only for a period of 30 s with and without the N95 respirators. The nose tube from the spirometer was connected to the drilled hole at the bottom of the modified full face mask for the spirometer. The conductor of the experiment ensured that there were no leakages around the full face mask before carrying out the recording of results. The



Fig. 1. The original and modified full face masks for the rhinomanometer.

volume of air involved in the exchange was then noted down for that period.

In the posterior rhinomanometer test, a small tube was placed in the mouth long enough to sit on the tongue and with the lips closed round the tube. If the soft palate of the subject is relaxed, the pressure measured by this tube would be the same as the pressure driving the airflow through the nose. Measurement of the total nasal resistance was performed by following the standard technique that has been published by the International Standardization Committee (Clement, 1984).

Prior to measurement being taken, the subjects were asked to relax in a quiet condition for ~30 min. Then, they were asked to breathe in a relaxed manner through the nose and to avoid rapid maneuvers. Figure 2 shows a human subject wearing an N95 respirator during the tests.

RESULTS

All measurements (rhinomanometry and rhinopspirometry) were recorded by a mean value of at least three consecutive tests with stable results. A test was performed comparing the standard mask to the modified face mask. The results showed that the average percentage differences between these

two measurements were 10.15 and 12.28% during inspiration and expiration, respectively (Table 1).

For the flow resistance, there was an increase in both the inspiratory and the expiratory nasal flow resistance with the use of N95 respirator (Table 2). The average percentage increments for both inspiration and expiration are 126.5 and 122.6%, respectively. For rhinopspirometry measurement, a mean value of 37% reduction of the air exchange was found after wearing N95 respirator as compared to standard rhinomanometry mask (Table 3).

DISCUSSION

Many national and international health agencies recommended the use of face masks or respirators during the recent 2009 influenza A (H1N1) pandemic. There was reported evidence to support the wearing of masks or respirators during illness to protect others, and public health emphasis on mask wearing during illness might help to reduce influenza virus transmission (Cowling *et al.*, 2010; Shine *et al.*, 2009; Gralton and McLaws, 2010). Despite the extensive use of N95 respirators, there were relatively few studies on the physiological impact of wearing N95 respirators. A reported study on young medical staff (Kao *et al.*, 2010) showed that wearing an N95 respirator for 4 h would result in tiredness, increased PaCO₂, and decreased SpO₂ but would not affect their working ability. However, there was a lack of objective study to assess the possibility of impaired breathing due to the wearing of N95 respirators.

The present work is an attempt to measure objectively the increase flow resistance by using the standard technique of rhinomanometry and spirometer. The original mask for the equipment was first replaced by a modified full face face mask so that the equipment could still be used with the wearing of N95 respirators. The differences of 10–12% between the measurements using the original mask provided by the equipment and the modified full face mask are deemed to be small compared to the >100% measured increment in the flow resistance.

It can be seen that each individual within the 14 human subjects has relatively different airflow volume ranging from as low as 1.54 l to as high as 6.55 l. Tidal volume was measured in this experiment. Tidal volume of an individual depends on gender and body weight. However, as observed during conduction of the experiment, the main factor that had caused the comparatively low airflow volume for the few subjects was that these subjects had blocked nose at the time of experiment. This was



Fig. 2. A human subject with N95 respirator during the test.

Table 1. Comparison of nasal resistance measured with original mask and modified full face mask for rhinomanometry

Subject	Original rhinomanometer mask		Modified full face mask		Percentage difference	
	Inspiration (Pa cm ⁻³ s ⁻¹)	Expiration (Pa cm ⁻³ s ⁻¹)	Inspiration (Pa cm ⁻³ s ⁻¹)	Expiration (Pa cm ⁻³ s ⁻¹)	Inspiration (Pa cm ⁻³ s ⁻¹)	Expiration (Pa cm ⁻³ s ⁻¹)
1	0.374	0.490	0.340	0.466	10.00	5.15
2	0.234	0.297	0.247	0.330	5.26	10.00
3	0.249	0.319	0.218	0.253	14.22	26.09
4	0.242	0.345	0.296	0.377	18.24	8.49
5	0.220	0.214	0.208	0.257	5.77	16.73
6	0.204	0.210	0.228	0.237	10.53	11.39
7	0.312	0.268	0.330	0.208	5.45	28.85
8	0.256	0.281	0.255	0.247	0.39	13.77
9	0.316	0.255	0.273	0.264	15.75	3.41
10	0.207	0.216	0.176	0.184	17.61	17.39
11	0.397	0.286	0.459	0.252	13.51	13.49
12	0.225	0.201	0.203	0.223	10.84	9.87
13	0.213	0.298	0.232	0.315	8.19	5.40
14	0.266	0.299	0.284	0.305	6.34	1.97
Mean	0.265	0.284	0.268	0.280	10.15	12.28
STDEV	0.062	0.074	0.073	0.074	5.261	7.962

Table 2. Breathing resistance with N95 respirator versus without respirator

Subject	Without N95 respirator		With N95 respirator		Percentage increment (%)	
	Inspiration (Pa cm ⁻³ s ⁻¹)	Expiration (Pa cm ⁻³ s ⁻¹)	Inspiration (Pa cm ⁻³ s ⁻¹)	Expiration (Pa cm ⁻³ s ⁻¹)	Inspiration	Expiration
1	0.340	0.466	0.367	0.486	7.94	4.29
2	0.247	0.330	0.655	0.629	165.18	90.61
3	0.218	0.253	0.248	0.744	13.76	194.07
4	0.296	0.377	0.940	1.070	217.57	183.82
5	0.208	0.257	0.230	0.318	10.58	23.74
6	0.228	0.237	0.490	0.672	114.91	183.54
7	0.330	0.208	0.859	0.467	160.30	124.52
8	0.255	0.247	0.418	0.431	63.92	74.49
9	0.273	0.264	0.671	0.498	145.79	88.64
10	0.176	0.184	0.433	0.288	146.02	56.52
11	0.459	0.252	0.494	0.389	7.63	54.37
12	0.203	0.223	0.868	1.043	327.59	367.71
13	0.232	0.315	0.534	0.363	130.17	15.24
14	0.284	0.305	1.021	1.081	259.51	254.43
Average	0.268	0.280	0.588	0.606	126.49	122.57
STDEV	0.073	0.074	0.254	0.280	99.310	103.345

considered as a systematic error because the subsequent tests with the N95 face mask were conducted immediately after the test without face mask. Generally, the subjects' noses or nasal conditions would remain the same within this short period of time. Since the main objective of this experiment was to determine the possible decrement in airflow volume

when the user wore the different respirators, the data that had been presented were deemed to be valid for comparison and analysis.

The number of human subjects involved in the present study was still quite small and the data might not be representative of larger populations. But the initial findings of significant increase in breathing

Table 3. Rhinospirometer measurement (duration: 30 s)

Subject	Volume (l) without N95 respirator	Volume (l) with N95 respirator	Decrement (%)
1	3.58	3.23	9.78
2	6.32	0.55	91.30
3	1.54	0.28	81.82
4	4.51	4.28	5.10
5	6.03	2.38	60.53
6	3.00	1.61	46.33
7	6.30	5.84	7.30
8	6.55	5.95	9.16
9	3.38	3.05	9.76
10	5.68	2.69	52.64
11	2.54	1.95	23.23
12	3.41	0.95	72.14
13	1.60	1.02	36.25
14	3.94	2.75	30.20
Average	4.17	2.61	37.43
STDEV	1.750	1.785	29.677

resistance for this human subject study is worthy of further larger scale study on the physiological impact of respirator wearing. For example, we found a mean increment of 126 and 122% in inspiratory and expiratory flow resistances, respectively, with the use of N95 respirators. From clinical viewpoints, an increase in nasal resistance is mainly attributed by nasal obstructions caused by anatomical deformities of the nose or edematous, which were commonly found in infectious or inflammatory diseases. **However, in this study, it is probably due to an average reduction of 37% in air exchange volume with the use of N95 respirators. It needs to be investigated further whether these changes will eventually result in an abnormal respiratory ability and function of the wearers.**

CONCLUSIONS

We presented a technique based on rhinomanometry and rhinospirometer to objectively assess the

possible impairment in breathing resistance caused by the wearing of N95 respirators on actual human subjects. **These data will be useful for the further assessment of physiological impact on the use of N95 respirators.**

FUNDING

Ministry of Education, Singapore (WBS R-265-000-310-112).

REFERENCES

- Clement PAR. (1984) Committee report on standardization of rhinomanometry. *Rhinology*; 22: 151–5.
- Cowling BJ, Zhou Y, Ip DK *et al.* (2010) Face masks to prevent transmission of influenza virus: a systematic review. *Epidemiol Infect*; 138: 449–56.
- Farquharson C, Baguley K. (2003) Responding to the severe acute respiratory syndrome (SARS) outbreak: lessons learned in a Toronto emergency department. *J Emerg Nurs*; 23: 222–8.
- Gralton J, McLaws ML. (2010) Protecting healthcare workers from pandemic influenza: N95 or surgical masks? *Crit Care Med*; 38: 1–11.
- Hayashi C, Tokura H. (2004) The effects of two kinds of mask (with or without exhaust valve) on clothing microclimates inside the mask in participants wearing protective clothing for spraying pesticides. *Int Arch Occup Environ Health*; 77: 73–8.
- Kao W, Tsai HB, Chen C *et al.* (2010) Physiological and neuropsychological impacts of wearing an N95 mask on young medical staff. *Occup Environ Med*; 60 (Suppl. 1): A136.
- Li Y, Tokura H, Guo YP *et al.* (2005) Effects of wearing N95 and surgical facemasks on heart rate, thermal stress and subjective sensations. *Int Arch Occup Environ Health*; 78: 501–9.
- Lim ECH, Seet RCS, Lee KH *et al.* (2006) Headaches and the N95 face-mask amongst healthcare providers. *Acta Neurol Scand*; 113: 199–202.
- Roberge RJ, Bayer E, Powell JB *et al.* (2010) Effect of exhaled moisture on breathing resistance of N95 filtering facepiece respirators. *Ann Occup Hyg*; 54: 671–7.
- Seto WH, Tsang D, Yung RW *et al.* (2003) Effectiveness of precautions against droplets and contact in prevention of nosocomial transmission of severe acute respiratory syndrome (SARS). *Lancet*; 361: 1519–20.
- Shine KI, Rogers B, Goldfrank LR. (2009) Novel H1N1 influenza and respiratory protection for health care workers. *N Engl J Med*; 361: 1823–5.



CONTATTI

FEDERAZIONE NAZIONALE UGL TRASPORTO AEREO

Via Francesco Borromini, 22 – 00054 – Fiumicino (RM)

Tel: [+39 06 87789978](tel:+390687789978)

Fax: [+39 06 88973768](tel:+390688973768)

Email: segreteria nazionale@ugltrasporto aereo.it

Email: ugltrae@pec.it

Email: ugltrae@libero.it