

Redução da exposição do ar contaminado expelido através do uso de um novo método de ventilação para quartos de pacientes

Autores: Zhecho D. Bolashikov¹, Arsen K. Melitov¹, e Marek Brand¹

Contato: zdb@byg.dtu.dk, akm@byg.dtu.dk, Marek@byg.dtu.dk

¹ Universidade técnica da Dinamarca, departamento de engenharia civil, ICIEE, Kgs. Lyngby, Dinamarca

Tradução:
Eng. José Augusto
S. Senatore

Resumo

Uma nova cama de hospital com ventilação e unidade de limpeza de ar integrada (HBIVCU) para o controle e limpeza do fluxo de ar local, limitando a dispersão de agentes contagiosos através do ar expelido por um paciente doente em um quarto, foi desenvolvida. O desempenho e eficiência da unidade, para a satisfatória redução da exposição dos ocupantes ao ar expelido pelo paciente, foi estudado em escala natural, utilizando-se um protótipo de ambiente hospitalar regular (para duas camas), cujas dimensões eram: 4,65m de comprimento x 4,65m de largura x 2,60m de altura, com dois pacientes e um médico.

Quatro unidades de ventilação foram instaladas nos dois lados de cada cama, próximas à região da cabeça do paciente. A tosse contaminada do paciente foi simulada através de bonecos aquecidos equipados com um gerador de tosse. Outro boneco aquecido foi utilizado como o segundo paciente. O terceiro boneco aquecido, dotado de respiradouro e com características e temperatura de superfície semelhantes ao corpo humano, foi utilizado para simular o médico parado próximo à cama, disposto à frente do paciente doente.

A tosse gerada consistiu em 100% de CO₂. A boca foi simulada através de uma abertura circular de 0,021m de diâmetro. As características da tosse eram: vazão de pico – 10 L/s, volume de tosse – 2,5 L, duração – 0,5 se-

gundos e velocidade máxima – 28,9 m/s. O desempenho da unidade desenvolvida, com taxas de ventilação de 3 e 6 trocas por hora, foi avaliado e medida através da concentração de CO₂ na boca do médico e do paciente exposto. Quando o novo equipamento não foi utilizado, a concentração de CO₂ (exposição) medida no ar “inalado” pelo médico excedeu 20 vezes aos níveis de fundo de CO₂ e mais de 12 vezes no caso do paciente exposto. Nenhum acréscimo na concentração de CO₂ foi medido, tanto próximo ao médico como ao paciente exposto, quando a unidade de ventilação e limpeza HBIVCUS foi acionada.

Palavras chave: *Ventilação em hospitais, controle local, tosse, exposição, concentração, medidas físicas, gás de referência, HBIVCU.*

Introdução

A ventilação busca prover aos ocupantes o ar fresco e saudável, livre de materiais perigosos e agentes contagiosos patogênicos para a respiração, além de um ambiente confortável do ponto de vista térmico. Entretanto, algumas estratégias existentes para a ventilação em quartos de hospital, geralmente através da mistura e distribuição do ar, falham em atender a esses objetivos (Kao and Yang 2006, Qian et al. 2006, Noakes et al. 2009, Tung et al. 2009).

Seus pontos fracos são especialmente notados hoje em dia com o aumento de novos ou mutações de agentes patogênicos responsáveis por grandes epidemias ou pandemias, como a SARS (Síndrome Respiratória Aguda Grave) e os vírus da gripe H5N1 e H1N1. Em quartos com a mistura do ar distribuído todos os ocupantes são igualmente expostos aos agentes patogênicos transportados pelo ar, quando a boa mistura de ar é obtida. Pessoas com sistemas imunológicos mais fracos, como crianças, idosos e imunocomprometidos estão sob risco elevado de contaminação cruzada pelo ar. Por isso altas taxas de trocas de ar são recomendadas, por exemplo: 12 trocas de ar por hora (ACH) são requeridas para a ventilação de enfermarias hospitalares e 6 trocas de ar por hora para quartos normais de pacientes (ASHRAE 170 2008, CDC Guidelines 2005, DS 2451-9 Dansk standard 2003). Experimentos em escala real têm revelado que a equipe médica e os pacientes estão expostos ao ar expelido por pacientes doentes, mesmo em ambientes com 12 trocas de ar por hora (Bolashikov et al. 2010, Klerat Et. al. 2010).

A distribuição dos fluxos de ar também seus pontos fracos, conhecidos por sua grande sensibilidade ao movimento das pessoas ou de outros objetos quando a velocidade de insuflamento é muito baixa (Halvo □ová and Melikov 2010). A distribuição da ventilação pode afetar a propagação do ar exalado horizontalmente, através de seu confinamento entre as camadas estratificadas de ar formadas pelo resultado do gradiente de temperatura (Qian et al. 2006, Bolashikov et al. 2012). Por isso, a distribuição do ar ventilado pode aumentar o risco de infecção através da contaminação cruzada dada pela transmissão entre ocupantes, caso as zonas de estratificação estejam na região de respiração do paciente doente.

Diariamente atividades pulmonares, como respiração, tosse, espirro, conversas ou até mesmo o canto, são geradoras de gotículas (Cole and Cook 1998, Edwards ET al. 2004, Wong and Leung 2004). Esses aerossóis gerados pelo homem podem ser carregados de micro-organismos e/ou vírus se a pessoa está doente. Após deixarem o “hospedeiro”, estas gotículas são transportadas pelo ar ambiente. Seu destino depende das propriedades da gotícula, das condições ambientais, assim como a interação do fluxo do ar nas imediações de cada ocupante. Esta interação é denominada

por muitos fatores como a natureza do fluxo de ar gerado (tosse, espirro, respiração etc), a convecção natural ao redor do corpo humano, a presença de qualquer fonte de convecção forçada na zona de ocupação, a ventilação de fundo, o uso de ventilação personalizada, etc. Embora importante, não existe muito conhecimento disponível sobre a interação dos fluxos de ar em zonas ocupadas especialmente próximas às zonas de respiração de um ocupante, e uma maior compreensão sobre isso é necessária (Bolashikov e Melikov 2009).

As tecnologias e estratégias de ventilação consideram somente a diluição através do suprimento de grandes quantidades de ar limpo e condicionado. Isto as torna energeticamente ineficientes e grandes consumidoras. Em muitos casos, os sistemas de ventilação criam problemas ligados às elevadas velocidades levam a questões devido ao aumento das taxas de trocas de ar. Novas formas do projeto de ventilação nas áreas ocupadas são requeridas e isto busca introduzir o controle sobre a interação dos fluxos locais e a redução da exposição e dispersão dos aerossóis contagiosos gerados pelos humanos em ambientes fechados.

Estas novas técnicas avançadas de distribuição de ar devem ser capazes de atender aos requisitos de todos os ocupantes pela qualidade do ar e conforto térmico, e reduzir a exposição à poluição interna e materiais perigosos à saúde (por exemplo: químicos tóxicos, micro-organismos e vírus contagiosos, alergênicos etc.). Ao mesmo tempo, estas novas estratégias de ventilação devem ser amigáveis e eficientes do ponto de vista energético e resultar no aumento da qualidade de vida dos usuários finais.

Método

Experimentos foram projetados e realizados em uma sala experimental de tamanho real, cujas dimensões eram 4,65m de largura x 4,65m de comprimento x 2,60m de altura, construída para simular uma sala de isolamento de hospital para dois leitos. A distância entre os leitos foi ajustada para 1,30m. Cinco luminárias foram montadas no teto (6W cada) fornecendo a iluminação de fundo. A sala foi localizada em um ambiente externo alto, onde a temperatura foi mantida constante e igual àquela temperatura do ar na sala experimental.

Um manequim aquecido (60W) com um corpo de geometria simplificada, foi equipado com uma máquina de tosse, usada para simular a tosse do paciente doente deitado em um dos leitos. A boca para a tosse deste paciente era uma abertura circular (diâmetro de 0,021m). As características da tosse produzida eram: vazão de pico – 10 L/s, volume de tosse – 2,5L, intervalo entre tosse – 0,5s, máxima velocidade – 28,9m/s. Um segundo manequim aquecido (60W) foi usado para simular um paciente deitado na outra cama, alinhada com a cama do paciente doente. Um manequim aquecido e vestido, em tamanho, formato e distribuição de temperatura de superfície real do ser humano, foi usado para representar o médico. Sob condições estudadas a perda de calor de um manequim corresponde a 60W de aumento de calor sensível. O layout do ambiente é mostrado na Figura 1.

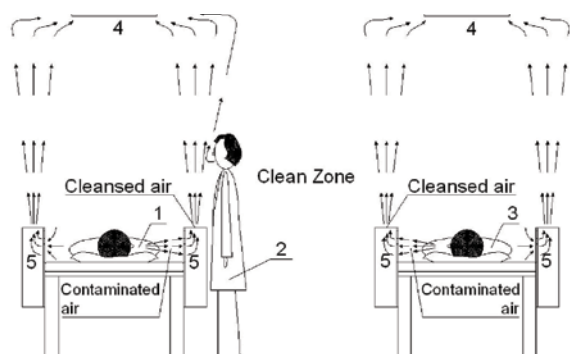


Figura 1: Distribuição do ar em um quarto com os HBIVCU (*Hospital Bed Integrated Ventilation Cleansing Unit*). Paciente doente (1), (3) lados para a respiração e tosse. O médico (2) é protegido na zona limpa através de cortinas de ar criadas pelos HBIVCU (5). O ar contaminado é limpo e direcionado para cima até o teto para o sistema central de exaustão (4).

A distribuição do ar através do método da mistura foi utilizada para condicionar o ar do ambiente. Um difusor de ar de insuflamento (quatro vias) e duas telas de exaustão (difusores de placa perfurada montados acima das cabeças de cada paciente) foram montados no teto da sala. O ar exaurido foi igualmente balanceado entre as duas saídas. O ar insuflado foi 100% externo (nenhum ar recirculado foi utilizado).

Uma leve pressão negativa de 1,6 +/- 0,2 Pa foi mantida durante todos os experimentos visando evitar o vazamento de ar da sala de teste para o ambiente externo

mais alto. A temperatura do ar de insuflamento e do ar exaurido foram mantidas constantemente sob controle para manter os registros, conforme definido em cada condição do ensaio.

Quatro dispositivos denominados “Hospital Bed Integrated Ventilation Cleansing Unit (HBIVCU)”, um em cada lado de cada cama, foram usados no experimento. Estes equipamentos estão aguardando aprovação de patente na Europa (EP 0965736.1) e nos EUA (US 61/226,542). A grosso modo, o HBIVCU é uma caixa com dimensões de 0,6m x 0,145m x 0,6m (largura x comprimento x profundidade). Ele pode ser instalado em cada um dos lados e ou na cabeceira da cama. HBIVCU ajuda a exaurir o ar das atividades pulmonares do ocupante / paciente doente (respiração, tosse, espirro, etc.), limpando o ar dos agentes patogênicos através da radiação UVC e então o descarrega verticalmente através de grelhas verticais, em um alto fluxo de ar vertical até o teto.

Para o teste duas aberturas foram feitas no dispositivo: Abertura de sucção (0,5m x 0,14m – largura x comprimento) nas maiores laterais da caixa e uma abertura para descarga (0,54m x 0,05m – largura x comprimento) no topo (figura 1). É importante notar que em algumas aplicações a sucção pode ser usada como insuflamento e a abertura de descarga como exaustão (não reportadas neste trabalho). Para o propósito deste estudo um sistema independente de HVAC foi utilizado para insuflar ar de maneira isotérmica para a seção de descarga da caixa e para exaurir o ar do local onde está a sucção da caixa. O volume de ar insuflado e exaurido foi sempre o mesmo e foi determinado pela velocidade inicial de descarga da parte superior da grelha (1,4 m/s, correspondendo a 36,8 L/s). Os experimentos foram realizados com ambos os dois pares de HBIVCUs instalados (um em cada lado das duas camas) ou sem qualquer dispositivo, para a condição de referência.

Os experimentos foram realizados sob duas condições de trocas de ar: 3 e 6 trocas de ar por hora, com e sem os HBIVCUs. A temperatura do ambiente foi mantida em 22°C enquanto a umidade relativa não foi controlada. A vazão do gerador (simulador de tosse) foi mantida com 100% de CO₂. A medição da concentração de CO₂ na posição da boca do médico e no segundo paciente foi feita através de um instrumento especialmente desenvolvido com captação constante de 0,8s e frequência de 4Hz. As medições da concentração de CO₂

no insuflamento, exaustão e diversos pontos na zona ocupada foram feitas também utilizando um analisador multigases baseado no princípio da fotoacústica para manter a leitura da concentração de fundo.

Para cada condição estudada, entre 15 a 20 medições foram realizadas simulando a tosse e a média foi calculada. Um software especial foi preparado e usado para processar todos os dados medidos. Todos os resultados foram apresentados como o excesso da concentração de CO₂ sobre o nível de fundo do ambiente para cada estudo e em duas diferentes taxas de trocas de ar.

Dois outros parâmetros foram discutidos como se segue, nomeados nível de concentração de pico – *Peak Concentration Level* (PCL) e o tempo de concentração até pico – *Peak Concentration Time* (PCT). PCL é definido com a máxima concentração medida na boca do médico ou do segundo paciente imediatamente após a geração da contaminação – tosse; PCT é definido como o tempo no qual é alcançada a PCL (Melikov et al. 2009).

Resultados e discussão

O excesso da concentração de CO₂ amostrado na boca do médico e no paciente exposto a 3 e 6 trocas de ar por hora, com e sem os HBIVCU instalados, após uma única simulação de tosse estão apresentados na figura 2. Os resultados dispostos nela revelam que sem a operação das HBIVCU, a concentração de CO₂ para os dois, médico e segundo paciente, aumentou drasticamente imediatamente após a tosse. A diferença no excesso de concentração de CO₂ sob 3 e 6 trocas de ar por hora foi pequena. O uso dos HBIVCU protegeu o médico e o segundo paciente do ar contaminado, através da exaustão local bem sucedida.

A figura 2 demonstra claramente a eficiência dos HBIVCU na proteção do médico e do segundo paciente do ar contaminado (tosse) pelo paciente doente e ela não foi influenciada pelo volume de ar renovado no ambiente através do sistema de ventilação, quando o número de

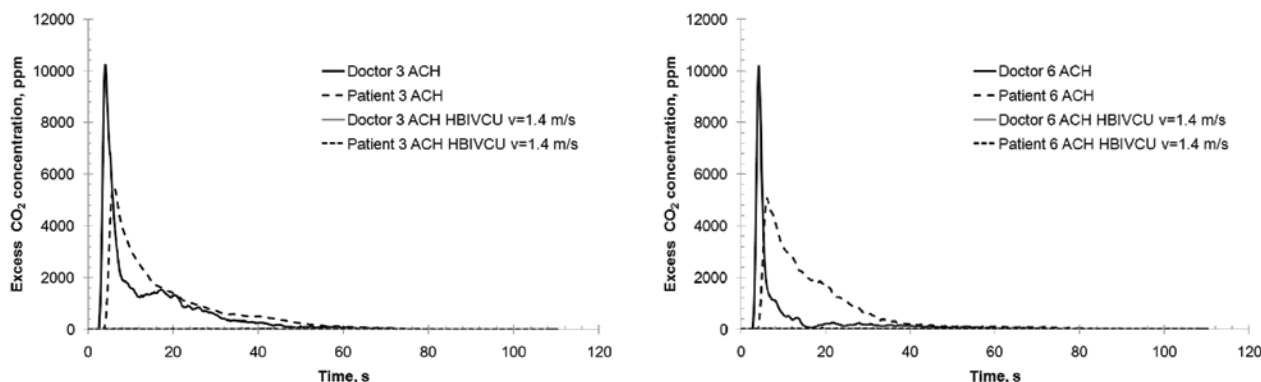


Figura 2. Mudança da concentração de CO₂ no tempo medida na boca do “médico” posicionado a distância de 0,55m do paciente doente e à boca do paciente exposto na segunda cama (1,3 m de distância). O paciente que tosse está virado para a direção do médico e do segundo paciente. Os resultados obtidos com os HBIVCU com velocidade de descarga de 1,4m/s e no caso de referência sem os HBIVCU são comparados para a) 3 trocas de ar por hora e b) 6 trocas de ar por hora.

Muitos experimentos foram realizados para estudar a exposição ao ar exalado para a posição do médico na frente do paciente contaminado a uma distância de 0,55m e para o segundo paciente exposto, com: a) A HBIVCU como um obstáculo (com o dispositivo instalado, porém inoperante); b) a HBIVCU em operação sob diferentes condições de taxa de ventilação de fundo. O presente estudo apresenta o impacto da taxa de ventilação de fundo apenas realizado a taxas de 3 e 6 trocas de ar por hora respectivamente.

trocias foi alterado de 3 para 6 trocas por hora. A medição do PCL nunca esteve acima do nível de CO₂ de fundo quando os HBIVCU estiveram em operação com velocidade do ar de 1,4 m/s. A distância relativamente próxima entre a boca do paciente contaminado e a abertura de sucção das unidades resultou na evacuação eficiente do ar contaminado exalado. Baseado nestes resultados pode-se esperar que, mesmo em ambientes com taxas de renovação de ar de 12 trocas por hora, o uso de unidades HBIVCU será efetivo e não afetado.

O PCT medido foi curto para o médico (aprox. 2,5s) e quase o dobro para o paciente exposto (aprox. 4s), quando o novo método de ventilação (HBIVCU) não estava em operação. Quando os HBIVCUs foram instalados em cada cama, o PCT não pode ser identificado em nenhum dos dois, paciente exposto e médico. Todo o ar exalado foi capturado com sucesso pela abertura de exaustão da unidade.

O método novo estudado para a redução da dispersão e mistura do ar contaminado com o ar interno de um quarto de hospital, provou ser eficiente na remoção do ar contaminado por um paciente doente e ofereceu proteção para ambos, equipe médica e pacientes companheiros de quarto. A unidade de ventilação próxima à boca da pessoa doente garantiu a remoção bem sucedida da maior parte do ar contaminado gerado pelas atividades pulmonares. O ar capturado após ser devolvido (através de emissor ultravioleta na banda C ou outro método de limpeza) é direcionado para cima em velocidade elevada, através de uma ou mais frestas horizontais, através dos exaustores com volume total de ventilação (figura 1). Assim o ar limpo direcionado para cima deve agir como uma barreira entre a equipe médica próxima à cama de um lado e ao paciente adjacente. Os jatos de ar descarregados (agindo como uma cortina) vão arrastar que qualquer contaminação que “escape” do sistema para cima e para o sistema de exaustão da sala. Outra possibilidade é conectar os HBIVCUs através de dutos flexíveis ao sistema central de exaustão (TV) e exaurir os agentes patogênicos carregando-os para fora do quarto ou, com sistema central de insuflamento, prover ar limpo ao ambiente através das frestas horizontais dos dispositivos. A compatibilidade da unidade vai torná-la bastante flexível do ponto de vista energético: ela pode ser mantida através de baterias ou conectada a energia do ambiente.

A expectativa é de que a unidade tenha potencial para a redução do consumo de energia. A extração local individualizada do ar exalado pelos pacientes doentes deve conduzir a redução do volume de ar total de ventilação: menos ar será necessário para a diluição. Assim menos ar precisará ser condicionado e insuflado nos ambientes internos. A ideia é que o dispositivo seja móvel e facilmente transportado e montado nas camas dos pacientes. Seu projeto atual segue aos novos conceitos de acessórios e mobiliário hospitalar, chamado plug and operate.

Os benefícios da introdução das unidades HBIVCU em quartos hospitalares convencionais são óbvios: um ambiente de trabalho saudável para a equipe médica e a rápida recuperação para todos os pacientes através da redução do risco de infecções hospitalares e de maneira secundária o potencial para a redução do consumo de energia e flexibilidade ao espaço hospitalar (dispensando o uso de enfermarias especiais para infecciosos).

Conclusões

Um novo método de ventilação, chamado HBIVCU, para a redução do risco de contaminação cruzada através do ar em enfermarias de hospitais para tratamento de infecções foi estudo em escala real simulando um quarto de hospital com dois pacientes e um médico. As seguintes conclusões puderam ser tiradas:

- O uso dos HBIVCU atua como um meio eficiente de redução da exposição do ar contaminado – tosse para as pessoas posicionadas próximas à cama de um paciente doente. Baseado nestes resultados, pode ser sugerido que o risco da contaminação cruzada através do ar pode ser significativamente reduzido quando o novo método de ventilação local é implementado;
- O desempenho dos HBIVCU para as condições estudadas não é afetado pela taxa de trocas de ar da ventilação do ambiente, de fundo (estudados até 6 trocas de ar por hora);
- O uso das unidades HBIVCU, em conjunto com a distribuição misturada do ar total, pode levar a uma redução substancial da taxa de ventilação do ambiente e, assim, à possível redução no consumo de energia.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi apoiada pela Agência Dinamarquesa de Ciência, Tecnologia e Inovação, Projeto N° 09-064627.

Referências bibliográficas

ASHRAE/ASHE Standard, 170-2008, Ventilation of Health Care Facilities, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. 1791 Tullie Circle NE, Atlanta, GA30329.

Bolashikov Z.D., Melikov A.K., Methods for air cleaning and protection of building occupants from airborne pathogens, 2009, Building and Environment, vol. 44, pp.1378-1385.

Bolashikov Z.D., Kierat, W., Melikov A.K., Popiołek, Z., Exposure of health care workers to coughed airborne pathogens in a hospital room: impact of the distance downstream from the coughing patient, IAQ 2010: Airborne Infection Control – Ventilation, IAQ & Energy, Paper ID: 080 November 10th - 12th 2010, Kuala Lumpur, Malaysia.

Bolashikov Z.D., Melikov A.K., Kostov K., Kierat W. and Popiołek Z., Exposure of health care workers and occupants to coughed air in a hospital room with displacement air distribution: impact of ventilation rate and distance from coughing patient, Proceedings of Healthy Buildings 2012, Brisbane, Australia.

CDC (2005) Guidelines for preventing the transmission of tuberculosis; healthcare settings, 2005. MMWR, 54, 1-141.

Cole E.C. and Cook C.E., Characterization of infectious aerosols in health care facilities: An aid to effective engineering controls and preventive strategies, 1998, Occupational Health and Industrial Medicine, vol. 39, Issue 5, pp. 213.

DS 2451-9, Styling af infektionshygiejne isundhedssektoren – Del 9: Krav til indkøb og vedligehold af teknisk og medicinsk-teknisk udstyr,

Dansk Standard – Danish Standards Association, 2003-04-30.

Edwards D.A., Man J.C., Brand P., Katstra J.P., Somerer K., Stone H.A., Nardell E., Scheuch G., Inhaling to

mitigate exhaled bioaerosols, 2004, PNAS, vol.101, No. 50, pp. 17383-17388.

Halvová B., Melikov A.K., Performance of “ductless” personalized ventilation in conjunction with displacement ventilation: Impact of disturbances due to walking person(s), Indoor Air, 2010, v 45, pp. 427-436.

Kao P.H., Yang R.J., Virus diffusion in isolation rooms, 2006, Journal of Hospital Infection, vol 62, pp.338-345.

Kierat W., Bolashikov Z.D., Melikov A.K., Popiołek, Z., Exposure to coughed airborne pathogens in a hospital room: impact of posture of coughing patient and location of doctor, IAQ 2010: Airborne Infection Control – Ventilation, IAQ & Energy, Paper ID: 079 November 10th - 12th 2010, Kuala Lumpur, Malaysia.

Melikov, A., Brand, M., Fang, L., 2009, Reduced exposure to coughed air by advanced air distribution, In: Proceedings of the 11th International Conference on Air Distribution in Rooms - Roomvent 2009, May 24-27, Busan, MOS1A, paper S0297.

Noakes C., Fletcher L.A., Sleight P.A., Booth W.B., Beato-Arribas B., Tomlinson N., Comparison of Tracer Techniques for Evaluating the Behaviour of Bioaerosols in Hospital Isolation Rooms, 2009, Proceedings of Healthy Buildings, Syracuse, USA, Paper 504.

Qian H., Li Y., Nielsen P.V., Hyldgaard C.E., Wong T.W., Chwang A.T.Y. Dispersion of exhaled droplet nuclei in a two-bed hospital ward with three different ventilation systems. Indoor Air 2006;16:111–28.

Tung Y.-C., Shih Y.-C., Hu S.-C., Numerical study on the dispersion of airborne contaminants from an isolation room in the case of door opening, 2009, Applied Thermal Engineering, vol. 29, pp. 154-1551.

Wong K.C. and Leung K.S., Transmission and Prevention of Occupational Infections in Orthopaedic Surgeons, 2004, Journal of Bone & Joint Surgery, American Volume, vol. 86, issue 5, pp.1065-1077. Columbus: (2000) “Columbus Cabin Ventilation Qualification Test Report”. COL-DORTR- 3002, Daimler-Chrysler Aerospace.