

ORİJİNAL MAKALE

Negatif ve bipolar iyonizasyonun havadaki bakteri birikim üzerindeki yüzey yükü etkisi

S. Meschke¹, B.D. Smith¹, M. Yost¹, R.R. Miksch², P. Geffer³, S. Gehlke³ and H.A. Halpin⁴

1 Department of Environmental & Occupational Health Sciences, School of Public Health & Community Medicine, University of Washington, Seattle, WA, USA

2 IEH Laboratories & Consulting, Inc., Lake Forest Park, WA, USA

3 MKS Ion Systems, Alameda, CA, USA

4 Center for Health and Public Policy Studies, University of California, Berkeley, CA, USA

Anahtar kelimeler

Hava iyonizasyon, biyoaerosol, çevre sağlığı, yüzey yükü.

Yazışma

Scott Meschke, Department of Environmental & Occupational Health Sciences, School of Public Health & Community Medicine, University of Washington, Seattle, WA 98195, USA. E-mail: jmeschke@u.washington.edu

2008/0915: alıntı 28 Mayıs 2008, revize 14 Ağustos 2008 ve kabul 12 Eylül 2008

doi:10.1111/j.1365-2672.2008.04078.x

Özet

Amaçlar: Yüzey yükünün ve hava iyonizasyonunun havadaki bakterilerin birikimi üzerindeki etkisini değerlendirmek için bir dizi deney gerçekleştirildi.

Metotlar ve Sonuçlar: Yüzey elektrostatik potansiyeli ile havadaki bakterilerin kapalı bir ortamda birikmesi arasındaki etkileşim, 0, ± 2,5 kV ve ± 5 kV elektrik potansiyeli ile yüklü çökeltme plakaları kullanılarak araştırıldı. Sonuçlar, plakalar üzerindeki bakteri birikiminin orantılı olarak arttığını ve artan potansiyel ile + 5kV'de yerçekimi çökeltme hızının iki katından fazlasına çıktığını gösterdi. Negatif veya bipolar hava iyonizasyon varlığında benzer koşullar altında deneyler tekrarlandı. Bipolar hava iyonizasyonu, yüklü yüzeyler üzerindeki bakteri birikiminin neredeyse yerçekimsel sedimantasyona eşit seviyelere düşmesine neden oldu. Bunun tersine, difüzyon şarjı, negatif hava iyonizasyonu sırasında meydana gelmiş gibi görünmektedir ve bu da, iyonizasyon olmadan gözlemlenenen daha fazla zıt yüklü yüzey üzerinde birikimle sonuçlanmaktadır.

Vargılar: Fomitik yüzeyler üzerindeki statik yükler bakterileri çekebilir ve yerçekimsel sedimantasyon veya basit difüzyondan beklenenden daha fazla birikimle sonuçlanabilir. Bipolar iyonizasyonun uygulanması, bakteri birikiminin azalmasına neden olabilir.

Çalışmanın Önemi ve Etkisi: Fomitik yüzeyler, bulaşıcı organizmaların bulaşması için önemli araçlardır. Bu çalışma, yüzeylerde yüke bağlı bakteri birikimini en aza indirmek için basit bir strateji göstermiştir.

Giriş

Biyoaerosoller, havalandırma veya klima sistemleri, toz veya deri döküntüsü rahatsızlıkları, öksürük ve hapsirlikler gibi bir iç mekan ortamında çeşitli yollarla üretilebilir. Hava yoluyla taşınan mikroorganizmaların hastane veya klinik kaynaklı enfeksiyona katkısı son yıllarda pek çok tartışmanın kaynağı olmasına rağmen, biyo-aerosollerin önceden inanılandan daha büyük bir rol oynayabileceğini gösteren kanıtlar vardır (Schaal 1991; Beggs 2003). Hastane personeli, ziyaretçiler ve hastalardan dökülen cilt skuama miktarının günde yaklaşık 3×10^8 'e eşit olduğu ve hastane servislerinde cilt ölçüğü başına ortalama dört canlı bakteri bulunduğu tahmin edilmektedir (Lidwell ve ark.

1959; Noble 1981). Duguid, 1945 gibi erken bir tarihte, bir hapsirliğin saatte 200 milden fazla hızlarda havaya binlerce damlacık bırakabileceğini gösterdi ve bir öksürük, hapsirlik olarak havadaki damlacıkların miktarının sadece % 1'ini oluştursa da, çok daha sık görülür (Duguid 1945). Daha büyük damlacıklar, hızlı bir şekilde ve üretim noktasına nispeten yakın bir yerde havaya yerleşir, ancak öksürme ve / veya hapsirme, buharlaşmaya dirençli ve çok daha uzun mesafelerde hastalık oluşturma kapasiteli mikro organizmaları taşıyabilen 2 lm'den küçük bir damlacık konsantrasyonu oluşturabilir. (Papineni ve Rosenthal 1997). Shiomori vd. (2002), yatak yapımı gibi hastane faaliyetlerinin metisiline dirençli Staphylococcus aureus'un önemli ölçüde aerosol haline gelmesine neden olduğunu

gösterdi ve bu da Overton'u (1988) benzer bir çalışmanın yeniden yapılmasına zorladı.

Mainelis vd. (2001), bakterilerin havadan dağıtılması ve toplanması sürecinin, hücre duvarı etrafında 13000 temel elektrik yükü kadar yüksek bir elektrik yükü indükleyebileceğini, mikrobun doğal yükünü büyük ölçüde bastırdığını ve sürüklenme hızlarının artmasına neden olduğunu ortaya çıkardı (Mainelis et al. 2001, 2002). Buna karşılık, biyolojik olmayan parçacıkların aynı yöntemle aerosol haline getirildiğinde yalnızca düşük seviyelerde elektrik potansiyeli biriktirdiğini buldular.

Diğer yüklü parçacıkların çekim ve geri tepme etkileri hakkında bilinenler göz önüne alındığında, Boltzmann dengesinin üzerinde yüklü olan biyo-aerosollerin, normal sedimantasyon veya difüzyondan fazla zıt yüklü nesnelere veya yüzeylere çekileceği mantıksal bir hipotezdir. Gerçekten, Allen ve ark. (2006) yakın tarihli bir pilot çalışmada, hemşirelerin polipropilen önlüklerinin, sağlık hizmetlerinde her gün sıklıkla kullanılan çeşitli diğer plastik malzemelerle birlikte, statik yük oluşumundan bir elektrik alanı oluşturduğunu ve alüminyum folyo önlüklere kıyasla çok daha fazla sayıda mikroorganizma topladığını gösterdi. Sağlık personeli tarafından giyilen bazı ürünler, hastaları çevreleyen bir elektrik alanı oluşturarak potansiyel olarak patojenik mikropların çekilmesini kolaylaştırabilir ve nozokomiyal enfeksiyonlara katkıda bulunabilir.

Benzer sonuçlar, Becker ve ark. (1996), cerrahların endoskopik cerrahi yaptıklarında, vurgu için sıklıkla elle bir video monitörü gösterdiklerini gözlemlemiştir. Eldivenli bir el monitörün 4 cm yakınından geçerken kültürlerden bakteri ürettiğini ve 8 cm mesafenin ötesine büyümediğini buldular, bu da video ekranı ile eldivenli parmak arasında oluşan elektrostatik alanın bakteriyel kontaminasyona katkıda bulunacak bir mekanizma olabileceğini düşündürmektedir.

Literatürde bazı elektrostatik kontrol önlemleri tartışılmıştır. Cozanitis vd. (1988), bir yoğun bakım koğuşundaki çeşitli malzeme ve yüzeylere antistatik bir çözelti püskürttü ve daha sonra, işlenmemiş diğer malzemelerle karşılaştırıldığında biriken statik yük miktarını ölçtü. Yüzeyler daha sonra aerobik bakteri birikimi için örneklendi. Tüm odaya püskürtülmesi bakteriyel kontaminasyonu önemli ölçüde azaltmasa da, sonuçlar, statik yük oluşumunun meydana geldiği yalıtıcı nesnelere üzerinde antistatik solüsyonun odaklanmasının elektrik direncini ve ardından havadaki bakteriyel kontaminasyonu azaltacağını öne sürdü. Makela vd. (1979), Yanık ve Plastik Cerrahi Ünitesinde negatif iyon üretici kullandıktan sonra havada daha küçük bir bakteri konsantrasyonu bildirdi. Ayrıca Gabbay ve ark. (1990), bir diş kliniğinde her iki haftada bir 13,5 kV (polarite belirtilmemiş) korona tipi iyon jeneratörü kullandıktan

sonra mikrobiyal hava kirliliğinde % 40-50 azalma kaydetti.

Yarı iletken endüstrisinde biyolojik olmayan partiküller için benzer tipte çalışmalar yapılmıştır. Temiz oda ortamları için geliştirilen başarılı mühendislik kontrolleri, yüzeylerdeki elektrostatik çekim ve deşarjın azaltılmasının, havadaki partikül maddelerin birikmesini kontrol etmekten doğrudan sorumlu olduğu teorisine dayanmaktadır (Cooper ve diğerleri, 1990).

Son yıllarda, hava iyonizasyonu, kirleticileri havadan uzaklaştırmak için bir yöntem olarak başarıyla pazarlanmaktadır. Hem ticari hem de ev uygulamaları için birçok boyutta ve emisyon kapasitesinde çok sayıda iyon jeneratörü mevcuttur. Ancak, ticari iyonik hava temizleyicilerin performansına ilişkin bazı tartışmalar olmuştur (Grinshpun ve diğerleri, 2005).

Bu çalışma, elektrostatik çekimin (ESA) havadaki bakterilerin yüzeylerde birikmesi üzerindeki etkisini, önce bir kapalı ortamda $\pm 2,5$ kV ve ± 5 kV elektrik potansiyeline sahip bir test yüzeyine maruz bırakarak ve ardından birikmeyi yavaşlatıcı çökelmesiyle (0 kV topraklanmış bir yüzeyde bulunur) karşılaştırarak araştırdı. Ek olarak, bu çalışma, test ortamındaki hava iyon yoğunluğunu (negatif ve bipolar) artırmanın, havadaki bakteri birikiminin azaltılması üzerindeki etkisini incelemiştir.

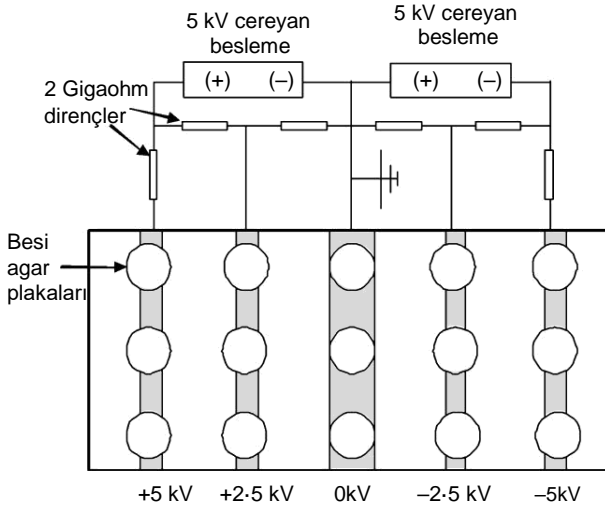
Malzemeler ve Metotlar

Test ortamı

Çalışma, bir üniversite araştırma binasının erkek tuvaletinde yapıldı. Tuvaletin toplam hacmi 29 m³ olan bir tuvalet, bir pisuar ve bir el yıkama lavabosu içeriyordu. İlk örnekleme, istatistiksel olarak yararlı sonuçlar elde etmek için bu odaya yeterli düzeyde havada taşınan bakteri aşılama için güvenilebileceğini gösterdi. Odadaki hava akışı binanın HVAC (ısıtma, havalandırma ve klima) sistemi tarafından sağlanmaktadır. Test ortamında ısı (70–72°C) ve nem (% 32–34) merkezi kontrol edildi.

Test cihazları ve agar plakaları

Yaklaşık 1,27 m uzunluğunda ve 0,6 m genişliğinde, 0,6 m yükseklikte konumlandırılmış laminat kaplı ince ahşap yüzeyli dikdörtgen bir test platformu tasarlanmıştır. 10 cm genişliğindeki topraklanmış şerit merkezden 20 cm uzakta yüzeyine 5 cm genişliğinde elektriksel olarak iletken folyo banttan dört şerit yerleştirildi (Şekil 1). Merkez zemin şeridinin iki ana amacı vardı. Birincisi, normal sedimantasyon oranlarının toplanması içindi ve ikincisi, cihazın bir tarafının diğerini olumsuz etkilemesini önleyerek elektrik alanını sonlandırmaktı. Bir güç kaynağı soldaki iki iletken şeride +5 kV'a kadar pozitif elektrik potansiyeli sağlarken, ikinci bir güç kaynağı sağdaki iki



Şekil 1 Test yüzeyinin üstten görünüm diyagramı, elektrik şeması ve besleyici agar plakalarının yerleştirilmesi. Yüzey 1,27 m uzunluğunda ve 0,6 m genişliğinde, merkezi topraklanmış iletken folyo şerit 10 cm genişliğinde, diğer dört şerit 5 cm genişliğindedir. İletken şeritler birbirinden yaklaşık 20 santimetre aralıktadır.

şeride 5 kV'a kadar negatif potansiyel sağladı. Her iki tarafta $\pm 2,5$ kV potansiyelini belirlemek ve şok tehlikesini en aza indirmek için güç kaynaklarının akım sınırlamasını sağlamakta 2 GX dirençli bir voltaj bölücü ağ kullanıldı. Bir referans yer düzlemi ve test sırasında sabit bir elektrik alanı sağlamak için, tel örgü ekranının 1,27 m x 0,6 m'lik bir bölümü, aparatın yüzeyinin yaklaşık 30,5 cm yukarısına sabitlendi. Elektrik potansiyeli seçimi ve şerit aralığı dahil olmak üzere test aparatının tasarımı için modelleme esasları, daha önce Miksch ve arkadaşları tarafından tarif edilmiştir. (2008).

Üç eşit aralıklı 100-15 mm besleyici agar Petri plakası, test başına toplam 15 olacak şekilde, her iletken elektrik şeridinin üstüne yerleştirildi. Bu çalışmada hızlı gelişen mikroorganizmaların kültürü için genel amaçlı besiyer anlamında yaygın olarak kullanılan besleyici agar seçilmiştir (Difco Laboratories, 1998). Her bir plaka, uzun süre havaya maruz kaldığında meydana gelen buharlaşmayı hesaba katmak için 35-40 ml agar ile hazırlandı. Agardaki elektrik potansiyeline karşılık gelen elektriksel iletken şeritlerle eşleşecek şekilde, her bir Petri plakasının altından, yan tarafa ve besleyici agara 10 cm uzunluğunda 0,4 mm kalınlığında nikel-krom tel sarıldı. Agar plakalarındaki elektrik potansiyeli, temas etmeyen bir elektrostatik alan ölçer (model M770, MKS Ion Systems, Alameda, CA) ile ölçüldü ve folyo şeritleri üzerindeki potansiyel ile aynıydı.

Havadan yayılan bakterilerin test aparatının bir tarafından diğer tarafına yatay hareketini tespit etmek için,

merkezi topraklanmış şerit üzerindeki üç besleyici agar plakasını, aparatın merkezinde test yüzeyinin 15 cm yukarısındaki bir akış standı üzerinde zemin düzlemine tutturulmuş dikey sırt sırta plakalarla değiştirerek bir dizi test gerçekleştirilmiştir. Elektrik alan modellemesi, bu lokasyonda elektrikli alanın, aparatın pozitif tarafından negatif tarafına yönlendirilmiş kesinlikle yatay bir bileşene sahip olduğunu gösterdi. Dikey plakalar, yüzey plakalarıyla aynı şekilde önden arkaya aralıklarla yerleştirildi ve test sırasında topraklama potansiyelinde kalmalarını sağlamak için merkezi topraklanmış şeride tutturuldu.

İyonlaşma deneyleri

Hava iyonizasyon deneyleri için bir Comtech Araştırma Modeli IG-133A negatif iyon üretici (Cantech Research LLC, South Greenfield, MO) ve bir MKS Ion Systems Model 6442 bipolar iyonlaştırıcı kullanıldı. Her ikisi de, her biri 10^5 iyon / cm^3 'ten fazla salan korona deşarj tipi iyonlaştırıcılardı. İyonlaştırıcıların tuvalettaki uygun bir konumunu ve her teste başlamadan önce ne kadar süre çalışması gerektiğini belirlemek için bir iyon sayacı kullanıldı. İyonlaştırıcılar yaklaşık olarak cihazdan 1 m uzakta, 0,9 m yükseklikte yerleştirildi. ve her maruziyet periyodu süresince çalıştırıldı. Her iyonlaştırıcıyla önceki ESA deneyleriyle benzer koşullar altında beş deneme gerçekleştirildi.

Örnekleme stratejisi ve analizi

Artan büyüklükteki elektrik potansiyellerinde bakteri birikim hızlarını normal sedimantasyon hızlarıyla karşılaştıran on test çalışması gerçekleştirildi. Besleyici agar Petri plakaları 24 saat boyunca havaya maruz bırakıldı. Aynı zamanda test yüzeyinde iletken şeritlere ve agar plakalara +5 kV, +2,5 kV, 0 kV, -2,5kV ve -5 kV'luk elektrik potansiyelleri aşağıda Şekil 1'de gösterildiği gibi uygulanmıştır. Elektrik potansiyelleri, her test öncesinde, sırasında ve sonrasında iletken olmayan bir elektrostatik alan ölçer ile doğrulandı. Dengeli bir örnekleme şeması sağlamak ve tuvaletin düzensiz şeklinin neden olduğu olası hava akışı anormalliklerini ve / veya tuvalet kapısının sık hareketinden kaynaklanan rahatsızlıkları hesaba katmak için, test aparatındaki kutuplar testlerin yarısında ters çevrildi.

Ek olarak, bakterilerin test cihazı boyunca yatay hareketini değerlendirmek için beş dikey plaka testi gerçekleştirildi ve ardından elektrik alanı olmayan iki test daha yapıldı. Elektrik alanı olmayan testler, normal test sırasında 0 kV şeridinden toplanan verilerle karşılaştırma

yapmak için ve test aparatının tasarımında veya tuvalete yerleştirmede havada bulunan bakterilerin farklı birikimine neden olan hiçbir şeyin olmadığını doğrulamak için kullanıldı. Son olarak, her biri negatif ve bipolar iyonizasyonla beş test gerçekleştirildi. İyonizasyon deneyleri için iyon üreteçleri, testin başlamasından 15 dakika önce açılmış ve her numune periyodunun sonuna kadar sürekli olarak çalıştırılmıştır.

Her test turunun tamamlanması üzerine, Petri plakaları 37°C'de 48 saat inkübe edildi, ardından koloni oluşturan birimler (CFU'lar) numaralandırıldı. Denemeler arasında tuvaletteki biyoaerosol konsantrasyonundaki önemli farklılıklar nedeniyle, her deneme için toplanan veriler, o deneme için 0 kV potansiyeline göre standartlaştırılmıştır. Sonuçlar, 0 kV'de ortalama CFU / plakasına göre her elektrik potansiyelinde ortalama CFU / plakasının oranlarının genel medyanı, (\pm) medyan mutlak sapma (MAD) olarak rapor edildi.

İstatistiksel analizler

Kruskal-Wallis Anova Rank testleri, bir grup test çalışması için çoklu elektrik potansiyelleri arasındaki farklılıkları değerlendirmek için kullanıldı ve yüklü elektrik potansiyelleri ile 0 kV topraklanmış potansiyel arasındaki spesifik ilişkileri değerlendirmek için Wilcoxon Eşlenik Çiftler testleri yapıldı. Kruskal-Wallis testleri, ESA ve her iki iyonizasyon şeması arasındaki farklılıkları bireysel potansiyeller için değerlendirmek için de kullanıldı. ESA çalışmaları ve her potansiyel için negatif veya bipolar iyonizasyon çalışmaları arasındaki spesifik ilişkileri incelemek için Mann-Whitney U testleri gerçekleştirildi. P değerleri ≤ 0.05 olan testler istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi. Tüm istatistikler, Statistica yazılım paketi 6.1 sürümü (Statsoft, Inc., Tulsa, OK, ABD) kullanılarak gerçekleştirildi.

Bakteriyel tanımlama

Çalışma sırasında izole edilen farklı morfo tiplerden seçilen bakteri kolonileri Gram boyandı, oksidaz ve katalaz test edildi ve daha sonra bir karbon kaynağı metabolik parmak izi tekniği (Biolog Inc., Hayward, CA, ABD) kullanılarak fenotipik olarak tanımlandı.

Sonuçlar

ESA testlerinin ampirik biriktirim oranları

Hava iyonizasyonu olmayan test çalışmaları için 0 kV topraklamaya göre +5 kV yüzey potansiyelinde ortalama bakteri birikiminde yaklaşık 2,5 kat artış gözlenmiştir. Bu potansiyellerde saat başına plaka başına temel CFU verilerinin karşılaştırması, farkın istatistiksel olarak anlamlı

Table 1 Median bacterial deposition (CFU per plate) ratios at each surface potential relative to 0 kV for ESA, Negative Air Ionization, and Bipolar Air Ionization

Deney tipi	+5 kV	+2,5 kV	0 kV	-2,5 kV	-5 kV
ESA İyonizasyon-lu/suz*	2,48	1,635	1	1,17	1,51
MAD	0,17	0,13	0	0,12	0,23
Negatif Hava İyonizasyon**	3,08	2,09	1	0,84	0,86
MAD	0,37	0,19	0	0,14	0,26
Bipolar Hava İyonizasyon**	1,03	1,02	1	1	1,01
MAD	0,04	0,01	0	0,03	0,03

* 10 kez deneyin Medyan değerleri

** 5 kez deneyin Medyan değerleri

MAD, Medyan Mutlak Sapma.

($P < 0,05$) olduğunu gösterdi. Test aparatının negatif tarafında bakteri birikimi, pozitif tarafta gözlemlenen çökelmeye kıyasla oldukça düşük olmasına rağmen, -5 kV potansiyelinde de önemli bir artış ($P < 0,05$) görülmüştür. Ayrıca, $\pm 2,5$ kV potansiyelleri için orantılı bir bakteri birikimi gözlemlendi. Tablo 1, yerçekimi çökmesi ile karşılaştırıldığında her yüzey potansiyelindeki bakteri biriktirim oranlarını özetlemektedir.

Tüm maruz kalma süreleri boyunca test aparatına elektrik yükü uygulandığında, 0 kV iletken şeritte plaka başına ortalama 45 CFU bulunmuştur. Testler uygulanmakta olan yük yokluğunda yapıldığında, plaka başına ortalama CFU sayısı 46 idi. Test sırasında her iki tarafın da diğerini olumsuz etkilemesini önlemek ve Boltzmann dengesinin üzerinde yüklü olmayan bakterilerin yalnızca yerçekimi kuvvetleri yoluyla birikmesi için bir "koridor" sağlamak için test aparatının her iki tarafındaki elektrik alanlarının etkili bir şekilde ayrıldığını gösteren alan metre ölçümleri Miksch ve ark (2008) tartıştığı her iki modeli de onaylar.

Dikey plaka testleri (yatay hareket)

Dikey plaka testleri için, deneysel koşullar iyonizasyon olmadan gerçekleştirilen on orijinal ESA deneyine benzerdi. Dikey agar plakalarından toplanan bakteri sayımları, saatte plaka başına ortalama CFU'ya göre standardize edilmiştir. Test aparatının (-) tarafından (+) tarafına hareket eden sonuçta ortaya çıkan bakteri sayısı saatte 0,26 CFU idi. Bu, (+) taraftan (-) tarafa hareket ederken bulunan levha başına 0,16 CFU'dan 1,6 kat daha yüksekti. Bu sonuçlar, ESA testlerinin ilk serisinde (1,64) bulunan +5 kV ve -5 kV potansiyelleri arasındaki medyan birikme oranıyla tutarlıdır ve bir kez daha sadece elektrostatik etkileşimlerin meydana gelmediğini, ancak test ortamında negatif yüklü bakterilerin net daha yüksek konsantrasyonu olduğunu, diğer çalışmalarda bulunan

daha fazla destekleyici sonuçlarla (Wilson ve diğerleri 2001; Lee ve diğerleri 2004) uyumlu gösterdi.

Negatif iyonlaşma deneyleri

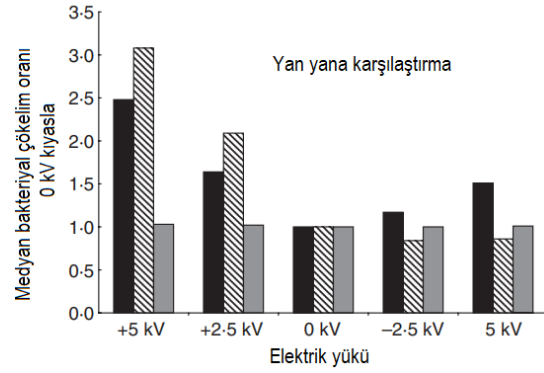
Negatif hava iyonizasyonunun sonuçları, Tablo 1'de gösterildiği gibi, test aparatının negatif tarafında bakteri birikiminde önemli bir azalmaya işaret etmektedir (P <02002), bu da neredeyse yerçekimsel çökelmeye eşit birikim ile sonuçlanmaktadır. Bu, hava iyonu yoğunluğunun artırılmasının, çökmeden önce Boltzmann dengesine doğru zıt yüklü havadaki bakteriler üzerindeki potansiyeli azalttığı, normal yerçekimi oranlarının üzerinde test aparatının negatif tarafına çekilemediği ve mevcut deneylerdeki bakterilerin artık pozitif bir yük taşımadığı düşüncesi ile tutarlıdır.

Negatif yüzey potansiyellerindeki oranların çoğu <1,0 idi, bu da hafif bir elektrostatik itme etkisine işaret ediyordu, ancak farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı değildi. Ek olarak, 2,48 olan önceki iyonizasyonsuz medyan değerine kıyasla +5 kV iletken şeritte birikimde % 24 medyan artış ve +2,5 kV şeritte % 28 artış vardı. Bu artışlar benzer şekilde istatistiksel olarak anlamlı olmamasına rağmen, veriler difüzyon şarjının meydana gelmesi ile tutarlıdır. Başka bir deyişle, pozitif yüklü havadaki bakterileri nötralize ettikten sonra odada yeteri kadar negatif iyon kaldığı, kalan negatif iyonlar ve havadaki bakteriler arasında difüzyon çarpışmaları meydana geldiği ve yüklü bakteriler test aparatının negatif tarafından itildiğinden ve/veya pozitif tarafa çekildiğinden bunun net negatif iyon artışına neden olduğu görülüyor.

Bipolar iyonizasyon deneyleri

Negatif iyonizasyon deneylerinin, negatif potansiyel yüzeylerde bakteri birikiminde azalma olduğunu göstermesi gibi, iki kutuplu iyonizasyon deneyleri, her iki polaritede de tüm test yüzeylerinde bakteri birikiminin etkili bir şekilde azaldığını gösterdi. Her bir maruziyet süresi boyunca 10^5 cm^{-3} üzeri miktar bipolar iyonları ekledikten sonra, tüm aparat genelinde plaka başına saat bazında CFU kalıtı medyan oranı, MAD içinde yüzey potansiyelinden bağımsız olarak, neredeyse aynıydı (Tablo 1). Bipolar iyonizasyon testlerinde iyonizasyon olmadan ilk çalışmalarda bakteri birikimi azaldı ve 0 kV'de referans değeri hariç tüm potansiyellerde istatistiksel olarak anlamlıydı (P <0,02).

Bu sonuçlar, test ortamında yüksek bir bipolar iyon konsantrasyonunun, Boltzmann dengesine doğru havadaki bakteriler üzerindeki yük bozulmuş süresini önemli ölçüde azalttığı ve ayrıca difüzyon yükünün oluşmasını önlediği varsayımını desteklemektedir.



Şekil 2 ESA'dan bakteri birikimini, negatif ve bipolar iyonizasyon testlerini karşılaştıran grafik temsil. (■) Orijinal ESA, (▨) Negatif iyonizasyon (■), Dual polarite iyonizasyon

varsayımını desteklemektedir.

Şekil 2'de havadaki bakterilerin çökmesine dair elektrostatik çekim, negatif ve bipolar iyonizasyon deneylerinin sonuçları da grafik olarak yan yana gösterilmiştir. Grafik, sadece elektrostatik etkileşimlerin şarjlı bakteri ve yüzeyler arasında meydana gelmediğini, zıt yüklü yüzeylerdeki birim alanlarda çöktürülen bakteri sayısının etkin bir şekilde azaltılmasında etkili olabileceğini daha da vurgulamak için kullanılır.

Seçilen bakteri izolatlarının tanımlanması

Tanımlanan bakteri izolatları hem ESA hem de iyonizasyon deneylerinde ve tüm yüzey potansiyellerinde eşit olarak dağıtıldı. Agar plakalarında altı baskın koloni türü gözlemlendi. Bu koloni türlerinden izole edilen bakteriler şunları içermektedir: *Micrococcus lylae*, *Micrococcus luteus*, *Micrococcus* cinsi (türler belirlenmemiştir), *Staphylococcus delphini*, *Bacillus licheniformis* ve *Moraxella osloensis*. *Micrococcus spp.* veya benzer mikrobik ve koloni morfolojilerine sahip bakteriler, sayılan kolonilerin % 96'sından fazlasını oluşturdu. İlginçtir ki, bir Gram-negatif *kokoid* bakteri ve bilinen bir fırsatçı patojen olan *M. osloensis* haricinde, tanımlanan tüm bakterilerin Gram-pozitif olması ilginçtir. *M. osloensis* ve *B. licheniformis* koloni tiplerinin görülmesi nadirdir. Test ortamı göz önüne alındığında aynı derecede ilginç bir gözlem *Escherichia coli* ve *Staphylococcus spp.*, *S. delphini* dışında bu çalışmada tanımlanmamıştır.

Tartışmalar ve Vargılar

Allen ve ark. (2006), statik bir yük taşıyan bir nesnenin hastanedeki hastaların yakınına taşınmasının, hastayı çevreleyen bir elektrik alanını tetikleyebileceğini ve potansiyel olarak zararlı havada taşınan aşırı mikroorganizmaların onlara doğru çekilmesine neden olabileceğini göstermiştir. Bu çalışmanın sonuçları, elektrostatik çekimin Boltzmann dengesinin çok üzerinde yüklü havadaki bakterilerin birikmesini etkileyen önemli bir kuvvet olabileceği fikrini açıkça desteklemektedir. Test yüzeyine +5 kV'luk bir elektrik potansiyeli uygulandığında, mevcut ESA deneylerindeki bakteri birikimi iki katından fazla arttı. Birikim, -5 kV potansiyelde de arttı, ancak daha düşük bir ölçüdeydi. Birikim, test aparatının her iki tarafında önemli ölçüde arttı, bu da test ortamında her iki polariteden de yüksek yükler taşıyan havadan taşınan bakterilerin mevcut olduğunu gösterdi. Bununla birlikte, hem iyonizasyonsuz hem de dikey plaka testleri, bakterilerin daha büyük oranda negatif yüklü olduğunu göstermiştir; bu, net bir negatif yüke genel bir eğilim gösteren literatüre uygun olarak tutarlıdır (Wilson ve diğerleri 2001; Lee ve diğerleri 2004).

Diğer yüklü parçacık türlerinde olduğu gibi, havadaki bakteri net bir elektrostatik yük taşıdığı ve zıt yüklü bir yüzeye yakın kaldığı sürece elektrostatik etkileşimler muhtemelen devam eder. Bakteriler üzerindeki birim yük, mevcut araştırmada doğrudan belirlenmemiş olsa da, birikimin artan yüzey potansiyeli büyüklüğü ile orantılı olarak arttığı görülmüştür; bu, test ortamında havada taşınan bakterilerin yüksek oranda yüklü olduğu varsayımını destekleyen bir sonuçtur. Yüklü bir biyoaerosolün, normal koşullar altında Boltzmann dengesine bozunmasının <2 saatten az sürdüğü bildirildiğinden (Hinds 1999), bakteri yüzeyinde yüksek şarj durumunun belirmesinde muhtemelen test ortamında taze biyoaerosol oluşumu sebep olmuştur. Bunu takiben, havadaki bakteriler üzerindeki yük bozunum süresini hızla azaltan yöntemlerin uygulanmasının yanı sıra, ilk başta taze biyoaerosol oluşumunu kontrol etmek, elektrostatik etkileşimlerden kaynaklanan artan mikrobiyal kontaminasyon tehdidini ele almak için tasarlanmış şemalara entegre edilmelidir.

Yüklü parçacıklar, parçacıkların kaç temel yük taşıdığı yanı sıra çevredeki hava iyonlarının yoğunluğuna Boltzmann dengesine bağlı olarak üssel bozunacaktır. Hava iyon yoğunluğunun 10^5 iyon cm^{-3} 'ün üzerine çıkarılması, iyonizasyon deneylerinde bozunum süresini önemli ölçüde azaltmıştır. Tek kutuplu iyonlaşma, zıt yüklü bakteri birikiminde neredeyse normal çökeltme oranına eşit bir azalmaya neden oldu, ancak aynı zamanda difüzyon yüküne ve iyonlar yayılırken zıt polariteye sahip yüzeyler üzerinde daha fazla birikmeye de katkıda bulundu.

Bu, tek kutuplu bir iyonizasyon şeması kullanmanın her zaman havadaki bakteriyel kontaminasyonu kontrol etmek için yeterli bir yöntem olmayabileceğini göstermektedir. Öte yandan, bipolar iyon konsantrasyonunun artırılması, tüm test yüzeyinde bakteriyel kontaminasyonu, elektrostatik çekimin ve difüzyon yüklemesinin ortadan kaldırılmasıyla tutarlı olan elektrik potansiyelinden bağımsız olarak normal çökeltme oranlarına etkili bir şekilde azaltmıştır.

Beklenmedik gözlemlerden biri, test yüzeyinde birikimde Gram-pozitif bakterilerin büyük baskınlığı ve Gram-negatif bakterilerin göreceli yokluğu. Çalışmanın konumundan dolayı (yüksek trafikli bir erkek tuvaleti), *E. coli* ve daha fazla sayıda *Staphylococcus spp.* agar plakalarından izole edilmesi bekleniyordu. Bununla birlikte, bu çalışmada *E. coli* tanımlanmamıştır ve tanımlanan tek *Staphylococcus* türü *S. delphini*'dir. Olası açıklamalar arasında örnekleme sapması, organizma türleri arasındaki yüzey yükü farklılıkları, cidarlardan müdahale, oluşum noktasından uzaklık, organizma yaşayabilirliği ve oluşum seviyesi yer alabilir. Bazı *Staphylococcus spp.* türleri *S. delphini* ile morfolojik benzerliklerinden dolayı gözden kaçmış olabilir. Spesifik bakteri türleriyle ilgili bu gözlemleri daha fazla araştırmak için ek analize ihtiyaç vardır.

Yarı iletken endüstrisinin temiz oda ortamlarında partikül birikimini kontrol etmek için uzun yıllar elektrostatik temelli mühendislik yöntemlerini kullandığını belirtmek önemlidir (Cooper ve diğerleri, 1990). Bu çalışmanın sonuçları, hastane ortamlarında yüzey yükünü en aza indirmek için benzer iyonizasyon tipi mühendislik kontrollerinin kullanılabilirliğini, bu da biyo-aerosollerin birikmesi nedeniyle fomitik hastalık bulaşma potansiyelini azaltmaya yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Bulgularımız, hasta ortamında kullanılan yüksek yüklü biyo-aerosollerin ve materyallerin (örn., izleme veya tedavi için plastikler ve elektrikli ekipman), hastanede edinilen enfeksiyonları azaltmaya yönelik keşif ve araştırma için önemli bir yeni yolu temsil edebileceğini göstermektedir. Hastanelerde enfeksiyonlara karşı en savunmasız hastaların tedavi edildiği alanlarda (örneğin yoğun bakım odaları, yanık üniteleri, onkoloji koşulları ve ameliyathane) elektrostatik kontrollerin benimsenmesinin etkisini test etmek için hastane ortamında ek araştırmalara ihtiyaç vardır.

Referanslar

- Allen, J., Close, J.J. and Henshaw, D.L. (2006) Static electric fields as a mediator of hospital infection. *Indoor Built Environ* 15, 49–52.
- Anonymous. (1998) *Electrostatic Compatibility: Guide to Assess and Control Electrostatic Discharge (ESD) and Electrostatic Attraction (ESA) for Equipment*. Mountain View, CA: Semiconductor Equipment and Materials International, Sept. 1998: SEMI E78-0998.

- Becker, R., Kristjanson, A. and Waller, J. (1996) Static electric-ity as a mechanism of bacterial transfer during endoscopic surgery. *Surg Endosc* 10, 397–399.
- Beggs, C.B. (2003) The airborne transmission of infection in hospital buildings: fact or fiction? *Indoor Built Environ* 12, 9–18.
- Cooper, D., Miller, R.J., Wu, J.J. and Peters, M.H. (1990) Deposition of submicron aerosol particles during inte-grated circuit manufacturing: theory. *Particulate Sci Tech* 8, 209–224.
- Cozanitis, D.A., Ojajarvi, J. and Makela, P. (1988) Antistatic treatment for reducing airborne contamination of insula-ting materials in intensive care. *Acta Anaesthesiol Scand* 32, 343–346.
- Difco Laboratories. (1998) *Difco Manual*, 11th edn. Sparks, MD: Difco Laboratories, Division of Becton Dickinson and Company.
- Duguid, J.P. (1945) The size and the duration of air-carriage of respiratory droplets and droplet-nuclei. *J Hyg* 54, 471–479.
- Gabbay, J., Bergerson, O., Levi, N., Brenner, S. and Eli, I. (1990) Effect of ionization on microbial air pollution in the dental clinic. *Environ Res* 52, 99–106.
- Grinshpun, S.A., Mainelis, G., Trunov, M., Adhikari, A., Repo-nen, T. and Willeke, K. (2005) Evaluation of ionic air purifiers for reducing aerosol exposure in confined spaces. *Indoor Air*, 15, 235–245.
- Hinds, W.C.. (1999) *Aerosol Technology*, 2nd edn. New York, NY: Wiley Interscience.
- Lee, S.A., Willeke, K., Mainelis, G., Adhikari, A., Wang, H., Reponen, T. and Grinshpun, S.A. (2004) Assessment of electrical charge on airborne microorganisms by a new bioaerosol sampling method. *J Occup Environ Hyg* 1, 127–138.
- Lidwell, O.M., Noble, W.C. and Dolphin, G.W. (1959) The use of radiation to estimate the numbers of micro-organ-isms in air-borne particles. *J Hyg* 57, 299–308.
- Mainelis, G., Willeke, K., Baron, P., Reponen, T., Grinshpun, S.A., Gorny, R.L. and Trakumas, S. (2001) Electrical charges on airborne microorganisms. *J Aerosol Sci* 32, 1087–1110.
- Mainelis, G., Willeke, K., Baron, P., Grinshpun, S.A. and Reponen, T. (2002) Induction charging and electrostatic classification of micrometer-size particles for investigating the electrobiological properties of airborne micro-organisms. *Aerosol Sci Technol* 36, 479–491.
- Makela, P., Ojajarvi, J., Graeffe, G. and Lehtimaki, M. (1979) Studies on the effects of ionization on bacterial aerosols in a burns and plastic surgery unit. *J Hyg (Lond)* 83, 199–206.
- Miksch, R., Gefer, P., Gehlke, S., Halpin, H.A., Meschke, J.S., Smith, B. and Yost, M. (2008) Relationship Between Surface Electrostatic Potential and Deposition of Airborne Bacteria. (Accepted for publication in *IEEE Transactions on Industry Applications*). New York: IEEE Industry Applications Society.
- Noble, W.C.. (1981) Dispersal of microorganisms from skin. In: *Microbiology of Human Skin*, ed. Noble, W.C., 2nd edn.pp. 79–85. London: Lloyd-Luke Ltd.
- Overton, E. (1988) Bedmaking and bacteria. *Nurs Times* 84, 69–71.
- Papinen, R. and Rosenthal, F. (1997) The size distribution of droplets in the exhaled breath of healthy human subjects. *J Aerosol Med* 10, 105–116.
- Schaal, K.P. (1991) Medical and microbiological problems arising from airborne infection in hospitals. *J Hosp Infect* 18(Suppl. A), 451–459.
- Shiomori, T., Miyamoto, H., Makishima, K., Yoshida, M., Fujiyoshi, T., Udaka, T., Inaba, T. and Hiraki, N. (2002) Evaluation of bedmaking-related airborne and surface methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* contamination. *J Hosp Infect* 50, 30–55.
- Wilson, W.W., Wade, M.M., Holman, S.C. and Champlin, F.R. (2001) Status of methods for assessing bacterial cell surface charge properties based on zeta potential measure-ments. *J Microbiol Methods* 43, 153–164.