
Yoğun Bakım Havalandırmaları ve İzolasyon Ünitelerinde Havalandırmalar

Yrd. Doç. Dr. Ertan TEKSÖZ

*Gülhane Askeri Tıp Akademisi Haydarpaşa Eğitim Hastanesi,
Anesteziyoloji ve Reanimasyon Servisi, İSTANBUL*

Hastanelerde hijyenik ortam deyince; erişkin, çocuk, yenidoğan yoğun bakım üniteleri ve karantina odalarının, hastane personeli tarafından hijyenik hale getirilmesi; ayağa galoş takılması, nefes alırken maske takılması ellerin yıkanması, özel giysi giyilmesi, kullanılan aletlerin ve mekanın dezenfeksiyonu ve sterilizasyonu olarak anlaşılmaktadır. Her ne kadar bu tarif doğruysa da en önemli husus tanım içinde yer almadığı için hayati derecede eksiktir. Bu eksiklik; temiz odaların klima, havalandırma sistemlerinin ve bunların çalıştırılma şartlarının uygun olup olmadığıdır. O halde hijyen tanımının iki faktöründen birincisi temiz odalarda hijyen, ikincisi ise mekanik tesisatta hijyen ve yeterlilik olarak algılanmalıdır. Yeterli bir mekanik tesisatta hijyen ancak ve ancak uygun filtre sistemleriyle sağlanabilir. Klima ve havalandırmanın olmadığı yerde hijyenik ortam oluşmaz. Sürekli o ortamın içinde partikül ve mikroorganizma üretimi vardır.

İnfeksiyon kaynaklarının izlediği yollar;

- Kullanılan aletlerin ve ortamın sterilizasyonunun ve dezenfeksiyonunun kötü olması,
- Hastanın kendisi,
- İnsandan insana geçme yoluyla,
- Çevreden dış hava yoluyla,
- Havalandırma sistemlerinin içinde üreyip çoğalma yoluyla, şeklinde özetlenebilir.

Bazı hastanelerimizde klima sistemlerinin bir parçası olan su soğutma kuleleri ve nemlendirme tesisatlarının son derece bakımsız olmalarından dolayı hastanelere şifa bulmaya gelen hastaların *Legionella* ile infekte olmasına neden olmaktadır.

Özellikle bahar aylarında artış gösteren kronik obstrüktif akciğer hastalığı ataklarının profesyonel yoğun bakımlarda en komplike hastada bile maksimum iki-üç gün olan derlenme ve şifa süresi, maalesef infeksiyon nedeniyle uzamakta ve hatta ölüm gerçekleşmektedir. Özellikle yürüyerek hastaneye planlı bir ameliyat için gelen bir hastanın yakınına “Ameliyat iyi geçti ama hastamızı infeksiyondan maalesef kaybettik” sözü son günlerde daha sık duyulmaktadır. Ameliyat sırasında veya sonrasında infeksiyon kapmış hastanın ameliyat sonrası hastanede kalış süresi uzamakta, antibiyotik tedavisiyle yoğun bakımın yüksek maliyetleri yüzünden total maliyet artmaktadır. Ancak daha da önemlisi yoğun bakımlarda boş yatak bulmak imkansız hale gelmekte ve gerçekten ihtiyacı olan hastalar zor durumda kalmaktadır. Ameliyat sonrası infeksiyon nedeniyle 2001 yılı hastane yatış ortalaması Amerika Birleşik Devletleri (ABD)’nde iki gün, Avrupa topluluğunda üç gün, Türkiye’de 13-14 gündür. Antibiyotik kullanımı (daha geniş spektrumlu olmak kaydıyla) ise Avrupa topluluğunun yedi, ABD’nin sekiz katı olmaktadır. Herhangi bir (ameliyathanein havadan infeksiyon kapma riskini 100 kabul edersek DIN 1946 (Alman standardı) ve iyi üretim uygulamaları prosedürü (GMP) kurallarına uygun olarak yapılmış ameliyathanelerde bu oran %0.033’e düşüyor. Kısacası ameliyat ve yoğun bakım ekibinin başarısızlıklarının büyük orandaki nedeni, klima havalandırma tesisinin yeterli olmaması, iyi işletilmemesi ve tesisatın hijyene hizmet etmemesidir. Bu bakımdan ekibin tesisatın oluşturacağı hijyen konusunda bilgilendirilmesi gerekmektedir. Ancak bu bilgilendirme sayesinde artık bu işin profesyonel bir ekip ile gerçekleştirilebileceğini söyleyebiliriz. Bugüne değin her şeyin hekim ve hemşireden oluşan ekip ve özellikle de idari görev üstlenenlere yıkılması tam bir hatadır. Çünkü hekim ve hemşire bu iş için yetişmiş spesifik mühendis değildir.

Açıkçası günümüzde ilaç, otomotiv ve bilişim sektörünün ameliyathane ve yoğun bakım ünitesi yapımcılarından daha bilinçli ve daha iyi temiz oda tesisi kurdukları bir gerçektir. Bu sektörlerde her başarısızlığın parasal boyutu büyük olduğundan özellikle ilaç üreticileri mevzuat gereği de kendini konuyla ilgili bilgilendirmiştir. Ameliyathanelere ve yoğun bakım ünitelerine dönüp baktığımızda ise, burada yapım standartlarının ilaç sektöründeki gibi olmadığı, büyük bir boşluk olduğu gözlenmektedir.

Aslında dünyada bu konu ile ilgili standartlar vardır [DIN 1946 (Alman standardı), ISO 14644, BS 5295 (İngiliz standardı), Federal standart 209 (USFD 209) gibi standartlar] ve bu standartları tamamlayıcı DIN EN 1886, Amerikan SMAC-NA, Avrupa birliği Eurovent vb. gibi çok güzel standartlar ile GMP, standart operasyon prosedürleri (SOP) vb. prosedürler uygulanmaktadır.

Klasik konfor klimasında parametreler sıcaklık ve nemdir; halbuki temiz oda klimasında sıcaklık, nem, canlı ve cansız kirleticiler, hava akış hızı ve yönleri, or-

tam basıncı gibi parametrelerin kontrolü gerekmektedir. Dolayısıyla sistem daha karmaşık hale gelmekte ve hijyenik klima ve havalandırma sistemi tam bir uzmanlık alanını oluşturmaktadır. Burada ayrı bir yönetmelik ve standart tarifi ile sistemi kuranın ihtisas sahibi olması, işletmecinin konuya hakim olması gerekmektedir. Aynı zamanda hastane tasarımcısı mimarın bu konuda ihtisas sahibi olması; yoğun bakım ve ilgili izole alanların tavan yüksekliği, alanı, şekli ile klima-havalandırma ve elektrik tesisatların kaplayacağı alanın ne olması gerektiğini bilmesi ve makine mühendisi, elektrik mühendisi, inşaat mühendisi ve alanları kullanacak olan sağlık personelinin de katılımıyla tasarımın yapılması gerekmektedir. Tasarımın genel kriterlerinde, yapılandırılması ve iklimlendirilmesinde özel çözümler geliştirilebilmesi için öncelikle aşağıda sıralanan soruları iyi bir şekilde analiz etmek gereklidir:

- Hasta bakımı için gerekli olan parametreler nedir?
- Hasta, malzeme ve personel akışı nasıldır?
- Hasta bakımının diğer hasta/personel çevreye zararı olabilir mi?
- Öngörülen alan, istenen temiz oda klasını sağlamak için, kullanılan cihazları ve çalışan insan sayısı ile orantılı mı?
- Kirli malzeme ve atık akışı insana ve çevreye zarar vermeden nasıl düzenlenmelidir?
- Duvar, tavan, aydınlatma ve yer sistemi nasıl oluşturulmalıdır?
- Tüm alanlarda kullanılacak olan malzemelerin yüzeyleri nasıl olmalıdır?
- Öngörülen alan için nasıl bir tesisat gereklidir?

Bu analiz yapılırken sağlık personelinin ve temiz oda mühendisinin yükümlü olduğu kısımları birbirinden ayırmak gereklidir. Yukarıdaki ilk üç sorunun cevabını kesinlikle sağlık personeli vermeli, malzeme seçimini ise sağlık personeli ve temiz oda mühendisinin beraber yapması gereklidir. Temiz ve steril alanlar planlanırken iklimlendirme sistemi, yer kaplaması, duvar ve tavan panelleri, aydınlatma, otomatik kontrol sistemi bir bütün olarak kabul edilmeli ve olanaklar el verdiğince uygulamasının tek sorumlu üzerinde olmasına dikkat edilmelidir. Çünkü bu işler temizlik sınıfının sağlanmasında tamamıyla birbirine bağlantılıdır. Bu sayılanların yanında genel elektrik ve temiz su tesisatları, atık su sistemi gibi tesisler bulunmakla beraber bu işleri koordineli olarak ayrı uygulamacıların yapmasında bir sakınca yoktur. Yapı sistemleri dışında temizlik klasını etkileyen diğer faktörler Tablo 1'de yer almaktadır.

Temiz ve steril üretim alanları için genellikle dört temiz alan sınıfı bulunmaktadır. Bunun yanında bazı ilaç fabrikalarının kendi belirlediği klaslar da vardır.

Klas A: Sterilitenin en yüksek derecede olmasını gerektiren bölgeler. Bu alanlara havanın 0.45 m/saniye \pm %20 laminer olarak basılması gereklidir.

Klas B: Klas A bölgesini çevreleyen steril alanlar.

Tablo 1. Temizlik sınıfı etkileyen faktörler.

Temizlik sınıfı	Maksimum partikül sayısı (b)		Maksimum mikroorganizma sayısı (d)				
	ISO 14644	Çalışma zamanı dışında	Çalışma ortamında		Aktif hava testi	Açık petri testi	Yüzey örnekleme testi
=> 0.5 µm		=>5 µm	=> 0.5 µm			=> 5 µm	
A	5	3500	0	3500	0	< 1	< 1
B (a)	5	3500	0	350.000	2000	10	5
C (a)	7	350.000	2000	350.0000	20.000	100	50
D (a)	8	3500.000	20.000	Belirlenmedi	Belirlenmedi	200	100
			(c)	(c)			

(a) Temizlik sınıfı B, C, ve D'ye ulaşmak için hava değişim katsayısı, odanın büyüklüğü ve personel sayısı ile orantılı olmalıdır. A, B ve C sınıfları için iklimlendirme sisteminde HEPA filtre kullanılmalıdır.

(b) ISO 14644-1'de istenilen partikül değerleri kabul edilebilir.

(c) Bu alanlarda belirlenecek sınır değerler yapılacak işe bağlıdır.

(d) Üretim esnasında.

Klas C ve D: Daha az kritik olan temiz alanlar, örneğin; soyunma ve dinlenme alanları.

Yoğun bakım ve izolasyon alanlarının tamamı bir bütün olarak düşünülmeli ve her bir birim aşağıda yer alan özellikleri kapsamalıdır:

A. DUVAR SİSTEMİ

Duvar sistemi kurulurken seçilecek olan malzemenin aşağıdaki özellikleri karşılayabilmesi gerekir:

- Seçilecek olan duvar sisteminin, basınç farklılıklarının ayarlanabilmesi, partiküllerin bir alandan diğer alana geçmesini ve aralarda birikmesini önlemek için kesinlikle sızdırmaz olması gereklidir,

- Çarpmalara karşı dayanıklı olmalı veya buna karşı önlem alınmalıdır,
- Duvar zedelendiğinde kolay bir şekilde tamir edilebilmelidir,

- Duvar kaplaması çizilmeye ve dezenfeksiyon maddelerine karşı dayanıklı olmalı, üzerindeki kaplama defalarca temizlenmesine rağmen kesinlikle zarar görmemelidir,

- Duvar panelleri arasında oluşacak fugalar olabildiğince azaltılmalıdır. Fugaları kapatmak için kullanılacak olan malzemeler de dezenfeksiyon maddelerine dayanıklı olmalı, bakteri ve mantar üremesine olanak vermemeli, zamanla sertleşip çatlaklar oluşturmamalıdır,

- Panellerin üzerine yerleştirilecek olan camlar ile paneller arasında çıkıntı olmayıp, burada kullanılacak olan contaların da dezenfeksiyon maddelerine dayanıklı olması gereklidir. Panellerin üzerinde, camların takıldığı yerlerde oluşacak köşelerin zamanla paslanması kesinlikle önlenmelidir,

- İstenilen yangın klasına uygun olmalıdır.

B. KAPILAR

Benzeri şekilde,

- Kapıların üzerinde, kapı dilinin girdiği yerde bakteri ve mantar üremesine olanak verecek girinti ve oyukların kesinlikle olmaması,
- Menteşe ve kapı tokmağı gibi malzemelerin olanaklar el verdiğince az aşınan malzemelerden seçilmesi,
- Hava kilitlerinin kapılarından biri açık iken diğerinin kapalı olmasını sağlayacak bir düzenek ve akustik ve/veya optik uyarı sistemlerinin bulunması,
- Kapıların yüksek temiz oda klasını olanaklar elverdiğince en az seviyede etkileyecek şekilde açılıp kapanması,
- Kapılar duvar ile aynı kalınlıkta olamıyor ise, yüksek temiz oda klasının olduğu bölümde çıkıntı yapmayacak şekilde tasarlanması,
- Kapılardan sinek ve böceklerin girmesinin önlenmesi,
- Köşelerin kolayca temizlenecek ve dezenfekte edilebilecek şekilde oluşturulması,
- Basınç farklılıkları olan bölgeler arasındaki kapıların kolayca kapanmasını sağlayacak önlemlerin alınması gereklidir.

C. TAVAN ve AYDINLATMA SİSTEMİ

Tavan sistemi de duvar sistemi ile aynı özelliklere sahip olmalıdır. Sızdırmazlığın güvenilir bir şekilde sağlanması burada özellikle dikkat edilmesi gereken bir konudur, çünkü asma tavan arası sistem kurulduktan sonra ulaşılması, temizlenmesi ve dezenfekte edilmesi oldukça zor ama mikroorganizmaların gelişmesine elverişli olan bir bölgedir.

D. YER KAPLAMASI

Yoğun bakım ve izolasyon alanlarında yer kaplaması için seçilecek malzemenin ne olacağı belki de yatırım yapılırken verilen en zor kararlardan biridir. Çünkü duvar ve tavan sistemiyle karşılaştırıldığı zaman yer kaplamasının üzerinde oldukça yoğun bir trafik vardır. Bu yüzden çizilmeye ve aşınmaya dolayısıyla mikroorganizma ve mantarların üreyeceği aralıkların oluşmasına en yatkın yüzeydir. Ayrıca yer sisteminin tamir edilmesi veya değiştirilmesi diğer yapı elemanları ile karşılaştırıldığı zaman oldukça zordur ve günlük faaliyetin önemli derecede aksamasına sebep olur. Bu yüzden yer kaplaması seçimi yapılırken üzerinde öncelikle ağır malzeme olacağını düşünerek kullanılacak olan malzemenin mümkün olduğunca kalın (6-14 mm) homojen, fugasız serilebilen bir maddeden oluşması gereklidir. Bunun dışında aşağıda belirtilen noktaları da göz önünde bulundurmak gereklidir:

- Kolay çizilmeyen, mümkün olduğu kadar sert homojen maddelerden oluşmalıdır,

- Yüzeyi mikroorganizmaların gelişmesine olanak vermeyecek kadar pürüzsüz olup, aynı zamanda kaygan olmamalıdır,
- Steril alanda kullanılacak olan kimyasal maddelere ve dezenfeksiyon maddelerine karşı dayanıklı olmalıdır,
- Özellikle sıvıların yoğun olarak bir yerde toplanmasına olanak vermeyecek derecede düz olmalıdır,
- Lavabo gibi sayısı önceden belirlenen giderlerin sterilitayı tehlikeye sokmayacak şekilde kapaklarının olması gereklidir,
- Ultraviyole ışınlarından en az seviyede etkilenmelidir,
- Özellikle sık sık ıslak temizlik gerektiren hacimlerin ve steril alanların (A, B ve C sınıfı) duvar yer bağlantıları yuvarlak, çıkıntısız ve fugasız olmalıdır. Diğer alanlarda da duvar yer bağlantılarının yuvarlak, çıkıntısız ve fugasız olmasında fayda olmakla beraber, yatırım masraflarını yükseltmesi ve duvar panellerindeki esnekliği azalttığı için getireceği faydaların analizinin iyi yapılması gereklidir.
- Yer kaplaması yukarıdaki özellikler ile beraber iletken olmalıdır,
- Yangın veya diğer felaketlerde çevre ve yer altı sularının kirlenmesini önlemek için ürün ile kirlenen suyu binanın içinde tutmalıdır.

Tüm ana yapı malzemelerinin seçiminde yatırım maliyetlerini düşük tutmak için verilecek olan yanlış bir kararın ileride çok daha ciddi masraf ve kayıplara sebep olması kaçınılmazdır.

Alan oluşturulurken pencereler ve aydınlatma için kullanılan malzemelerde büyük önem taşımaktadır. Bunların kolay dezenfekte edilebilmesi, dezenfeksiyon maddelerine, darbeye, sürtünmelere dayanıklı olması, toz tutmaması ve üzerlerinde mikroorganizmaların üremesine sebep olacak kaplama, pürüzler ve aralıkların olmaması gereklidir. Özellikle duvar, tavan, aydınlatma sistemlerinin ve kapıların uygulamasında özel bir itina gereklidir. Aksi takdirde iklimlendirme sistemiyle odalar arası basınç farklılıklarını sağlamak çok güçtür.

Odalar arasındaki basınç farklılıkları, hava kilitlerinin yerleştirileceği yerler planlanırken temizlik klasının dışında, personel ve malzeme akışı ve özellikle çıkan havanın insan ve çevreye zararlı olup olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin; atık havanın, gerekli filtre basamaklarından geçirildikten ve bu filtrelerin patlaması olasılığına karşı gerekli önlemlerin alınmasından sonra dışarıya atılması gereklidir. Odalar arasındaki artı/eksi basınç farklılıkları, hava miktarı düşüldüğünde ve filtreler kirlendiği zamanda korunabilecek şekilde tasarlanmalıdır.

KLİMATİZASYON SİSTEMİ

Günümüzde kullanılan “High Efficiency Particulate Air (HEPA)” filtrelerin ilk prototiplerine özellikle 2. Dünya Savaşının başlarında, 1938 yılında, gaz maskelerinde rastlamaktayız. Özellikle askeri alanda kullanılan bu sistemler, savaş sonrasında ise gerek tıp, gerekse hassas alet montajında gerek duyulan steril ortam

gereksinimi için klasik klima sistemleriyle kombine olarak kullanılmıştır. Günümüzdeki anlamda filtre ve klima-havalandırma sistemleri ise 1960'lı yılların ortalarında, mühendislik pratiğine yerleşmiştir.

Yoğun bakım havasında bulunan patojen sayısı ile infeksiyon oranları arasında doğru bir orantı mevcuttur. Özellikle *Staphylococcus aureus* sayısının 1 m³'lük hacimde 750-1500 arasında olabildiği bildirilmektedir. Ancak özel hava akımları sayesinde bu oran düşürülebilmektedir. Arzu edilen oran ise bu yoğunluğun 35-70/m³ olmasıdır.

Bu amaçla temel felsefe, yoğun bakım ünitelerinde sürekli steril hava değişimi ile yüksek basınç; izolasyon odalarında ise benzeri şekilde negatif basınç sağlanmalı, mevcut olabilecek hava kontaminasyonu dilüe edilmeli ve alan dışına da havanın kontrollü çıkışı olmalıdır.

Hastanelerde steril alanların planlanması ve klimatizasyonu diğer alanlardan ayrı olarak ele alınması gereken hassas bir konudur. Bu nedenle modern steril alanlar, personel, hasta ve malzeme akışına bağlı olarak uygun yapıda daha henüz proje aşısında değerlendirilmelidir.

Klimatizasyon sisteminin işlevi, steril alana sadece mikropsuz hava girişi değildir. Bunun yanında, steril alanda pozitif veya negatif basınç yaratarak (yoğun bakım) kirli ortamdan bu alana veya kendi alanından daha temiz alana (izolasyon alanı) geçişi önlemek, temiz hava temini, partiküllerin ve infeksiyon ajanlarının ortamdaki miktarını azaltmaktır. Ayrıca insan ve ekipmanların sebep olduğu ısı yükünün alınmasını, personelin temiz hava ihtiyacının karşılanmasını, çapraz kontaminasyonların engellenmesini ve personelin rahat bir ortamda çalışıp konsantrasyonunu uzun zaman korumasını, en az işletme masrafı ile sağlamaktır. Bunun için klima cihazı, kanal sisteminin ve filtrelerin seçiminde bazı özelliklerin göz önünde bulundurulması gereklidir.

Bunların yanında ısının ve bağıl nemin stabilizasyonu oldukça önemlidir. Nem stabilizasyonu elektrostatik yoğunlaşmayı önleyerek tozların yüzeye yapışmasını önler, ayrıca kişisel sağlık açısından kuru havanın zararlarını önlemektedir. Steril alanların iklimlendirilmesi ile ilgili isteklerde, yani sıcaklığın ve bağıl nemin kontrolünde, belirli şartlar dikkate alınır. Genelde sıcaklık ve bağıl nem, dar sınırlar içinde sabit tutulmak zorundadır. Sıcaklığın en fazla 21-24°C, bağıl nemin ise %40'ı aşmamasında mikroorganizmaların hızlı bir şekilde üremelerini önlemek için fayda vardır.

Hava akım şemasının hazırlanması belki de en önemli işlemlerden birisidir. Ortamın veya ortamların dönüşümlü ve/veya taze hava kullanımı, klima sayı ve düzenleri tam bir mühendislik işlemi olup, günümüzde birden fazla alanın kontrolü sadece bir cihaz ile olmayıp daha fazla klima cihazının kombinasyon ve işlemleri ile olabilmektedir. Yine hava kanalının çapı ve mesafesi gibi konular sistem etkinliği için son derece önemlidir.

1. Klima Cihazı

Klima cihazı sistemin kalbi olup, belirli özellikleri bünyesinde taşımaktadır. Bu özellikler şunlardır:

1. Cihaz en az 2500 Pa basınca dek sızdırmaz olmalıdır,
2. Çift cidarlı olmalı,
3. İç yüzeylerin düz, panellerin birleşim yerlerinin çıkıntısız olması gerekmektedir.

Teknik olarak yapısında:

1. Sızdırmaz klape,
2. Ön filtre,
3. Gerekliğinde ön ısıtıcı,
4. Dezenfeksiyon hücresi,
5. Soğutucu serpantin,
6. Dezenfeksiyon hücresi,
7. Isıtıcı serpantin,
8. Nemlendirici,
9. Ventilator,
10. Susturucu,
11. İkinci basamak filtre (HEPA) olmalıdır.

Teknik özellik olarak:

1. Serpantinler ve ventilatörler temizleme amacıyla kızaklı olup, dışarı çıkarılabilmelidir,
2. Serpantinlerin üzerindeki hava hızı mümkünse 2.5 m/saniye'yi geçmemelidir,
3. Serpantin üzerinde antibakteriyel bir kaplama olmalıdır,
4. Isıtıcı ve soğutucu serpantinlerin kanatçıkları arasındaki mesafe normal klimalardan daha geniş olmalıdır,
5. Kompresör ve nemlendiricinin tavası mutlaka paslanmaz çelikten olmalıdır,
6. Hava akımını sağlayan ventilatörler, bu akıma direnç oluşturan ön ve HEPA filtrelerin direncini yenebilecek ve uygun akım sağlayabilecek rezervde olmalıdır,
7. Ventilator motoru gerek hijyenik anlamdaki avantajı, gerekse kolay bakım avantajı nedeniyle "direkt tahrikli" olmalıdır.
8. Filtrelerdeki kirlenmeye paralel gelişen direnç artışına karşın ventilator motoru üzerinde frekans konvertörü bulunmalıdır.

Uygun olmayan klima cihazları steril bölgelerin iklimlendirilmesinde kullanıldığı vakit, sistemdeki filtreler kirlendiğinde artan basınç, havanın cihazdan sızma-

rak gitmesi gereken yere, yani steril bölgeye ulaşamamasına neden olmaktadır. Bu da zamanla steril bölgede mikrop sayısının artmasına, odalar arasındaki basınç farklılıklarının bozulmasına, yani sistemin işlerliliğini yavaş yavaş kaybetmesine sebep olmaktadır. Bu durum genellikle cihaz devreye alındıktan bir iki sene sonra kendisini göstermeye başlar. Bu aşamada kullanıcı, sistemi kurandan hiçbir şey talep edemez. Bu durumda tek çare, ön filtrelerin sık sık değiştirilmesi, üretimin durması, steril alanların kirlenmesi, validasyonun yapılması ve validasyon maliyetlerinin yüksek olmasından ötürü oldukça pahalıya mal olan, HEPA filtrelerini zamanından oldukça evvel değiştirmektir.

2. Filtreler

Temiz ve steril üretim alanları için kurulan iklimlendirme sistemlerinde filtreler sistemin en önemli ekipmanlarını oluşturmaktadır. Temiz oda teknolojisinin uğraş alanı, havanın içerisinde mevcut olan katı ve sıvı uçuşan maddelerin yine hava hareketleriyle ayrıştırılmasıdır. Bu kirliliğin iki temel nedeni mevcuttur:

1. Alana dışarıdan giren havanın içinde bulunurlar: Bir kısmı doğanın yapısında bulunan ve rüzgar gibi doğa olayları ile yayılan toz ve polen iken, bir kısmı ise yine doğada bulunan bakteri, virüs ve mantarlar olabilmektedir. Ancak tüm bunlara ilaveten günümüzde özellikle sanayi ve teknolojiye bağlı kirlenmenin getirmiş olduğu yük çok daha ağırdır. Dış hava, ortalama 10 milyon ile 10 milyar arası 0.5 µm parçacık ihtiva etmektedir. Bu konsantrasyon rakamları ve özellikleri, havanın durumuna, endüstrileşmeye ve yerleşim yoğunluğuna göre büyük değişimler göstermektedir.

2. Steril alanın içinde bulunan cihaz ve insanlardan kaynaklanır: Özellikle aşındırma yapan cihazlar ile kumaşlar bunda etkindir. Ancak bir steril alan içinde en önemli faktör olan yine insandır. İnsan vücudu yaklaşık olarak, bir dakika içinde, 1.000'in üzerinde bakteri ve mantar ile çapı 0,3 µm olan 100.000 adet toz parçacığı yaymaktadır. Normal bir aktivasyon ile olan bu değerler, daha aktif bir tempoda (koşturmak gibi) çok daha fazla olmaktadır.

Bu temiz hava ünitelerini gerekli kılan parçacıkların verdiği zararlar, teknolojik çökme ve infeksiyon şeklinde özetlenebilir. Teknik açıdan incelendiğinde, yüksek oranda entegre edilmiş yarı iletken çiplerde komşu iletken devreler arasında şantlara ve kısa devrelere neden olabilmekte, hassas mekanik parçalardaki sürtünmeyi artırarak cihazların kalibrasyonunu bozabilmekte veya yüksek yoğunluklu disklerdeki veri akımını ise bloke edebilmektedir. Bakteri ve mantar gibi biyoaktif maddeler ise, ya direkt yara yeri infeksiyonu ile, ya da kullanılan enstürman veya tedavi solüsyonlarının kirlenmesiyle indirekt yoldan infeksiyonlara neden olabilmektedir.

Havanın içindeki yabancı maddelerden temizlenebilmesi için yüksek verimlilikte ayırım yapan hava filtreleri ile donatılmış filtre bölümleri gerekmektedir. Bunların değişik kalite sınıflandırılması mevcuttur (Tablo 2).

Verimlilik sınıfı	Minimum ayırma verimliliği (%)*
Q	85
R	98
S	99.97
T	%99.9995

* 0.3-0.5 µm çaplı partiküller

HEPA filtrelerinde ayırım aracı olarak kağıt benzeri, son derece ince cam fiberler kullanılır. Partikül toplama kapasitesinin ve değiştirilme süresinin maksimumda olabilmesi için her tabaka arası, en büyük partikül çapından daha büyük tutulmuştur. Bu nedenle filtre içindeki hava akımı 1-2 cm/saniye'dir.

Havanın filtrasyonu esnasında mevcut partiküllerin tutulması için üç mekanizma mevcuttur:

- Kesişme etkisi: Sadece çapları fiberler arasındaki mesafeden büyük partiküller değil, fiberlere çok yakın geçen partiküller de tutulur;
- Atalet etkisi: 1 µm'den büyük parçacıklar için etkilidir. Parçacık hareketinin akış yönü, kütle moment etkisiyle saptırılır ve partiküller ya fiberlere yakın bir rotaya oturtulur ya da fiberlere direkt çarptırılır.
- Difüzyon etkisi: 1 µm'den küçük parçacıklar için geçerlidir. Partikül etrafındaki gaz molekülleri ile sabit çarpışmaları sonucunda, parçacıklar düzensiz, difüzyonel harekete yönelirler. Bunun sonucunda, partiküllerin cam fiberlere çarpışma olasılığı artar.

Steril oda teknolojileri için bu filtreler teknik olarak iki ayrı yapıda tasarlanır ve belirli yerlerde kullanılır:

- Plaka filtreler: Tavan uygulamaları için tasarlanmışlardır ve normal olarak 0.3-0.5 m/saniye'lik yüzey akım hızına sahiptirler.
- Filtre hücreleri: Zig zag şeklinde yerleştirilmiş filtre plakalardan oluşur. Kompakt yerleşim sayesinde filtre edilen havanın akım hızı 2 m/saniye'ye ulaşmaktadır.

Bir sistem bütünü içinde ve HEPA filtrelerin önünde yer alan koruyucu ön filtreler çok büyük önem taşımaktadır. Bu filtrelerin kalitesi ve zamanındaki servis bakımları ile pahalı bir ürün olan HEPA filtrelerin kullanım ömrü 10 yıl veya daha uzun süre olabilmektedir. Buna rağmen kullanım ömrü hakkında çok kesin ifadeler son derece yanlış olmaktadır. Çünkü bu yorum multifaktöriyel olup, dış havanın kirlilik derecesi, steril ortamdaki direkt olarak havaya salınan partikül sayısı, kurulu filtre sisteminden geçen total hava miktarı ve resirküle edilen hava miktarı bu süre için bağlayıcı olmaktadır.

Filtrelerin yerleştirilmesi olanaklar elverdiğince aşağıda tarif edildiği gibi yapılmalıdır.

Basma tarafı:

- Birinci basamak ön filtre: Taze hava emme kanallarının kirlenmesini önlemek için hemen dış hava menfezinin arkasına yerleştirilmelidir.
- İkinci basamak ön filtre: İklimlendirme cihazının girişine yerleştirilmelidir,
- Üçüncü basamak filtre: İkinci basamak filtrenin hemen arkasına (opsiyon)
- Dördüncü basamak aktif karbon veya aktif karbonlu kombine filtre: Özellikle hastanenin, kirli gazların çıktığı sanayi bölgelerinde, şehir içinde, yüksek trafiğin bulunduğu otoban kenarlarında vs. olduğu zaman (opsiyon),
- Beşinci basamak filtre: İklimlendirme cihazının çıkışında susturucudan sonra yerleştirilmelidir,
- Son basamak filtre (HEPA): Kanal sisteminin sonuna, menfez ağzına yerleştirilmelidir.

Emme tarafı:

- Birinci basamak filtre: Alanda aşırı hareketlilik (ve pamuklu kumaş kullanımı mevcutsa) nedeniyle fazla miktarda toz serbest kalıyorsa kanalların pislensini önlemek için hemen emme menfezlerinin ağzına yerleştirilmelidir. Burada patojen üreyip üremediğinin sık sık kontrolünün yapılması gereklidir.
- İkinci basamak filtre: Genellikle insan ve çevre için tehlikeli patojenlerin dışarıya çıkmasını önlemek için atık hava cihazı üzerine veya kanal sistemine HEPA filtre yerleştirilerek gerçekleştirilir (izolasyon üniteleri).
- Üçüncü basamak filtre: İnsan ve çevreye çok zararlı olacak patojenlerin dışarıya çıkmasını önlemek için ikinci bir HEPA filtre, bekçi filtre olarak yerleştirilmelidir.

Özellikle hassas bölgelerde bulunan filtrelerin patlayıp patlamadığını kontrol etmek için bir optik ve akustik alarm sisteminin konmasında fayda vardır.

3. Kanal Sistemi

Kanal sistemi hazırlanmış steril havanın alana taşındığı steril ortamlardır. Çap ve uzunluk, açılma ve diğer özellikler tamamen mühendislik boyutu olup, ayrı bir planlama içermektedir. Kanal sistemi planlanırken mümkün olduğu kadar az enerji tüketilmesine dikkat edilmelidir. Temiz ve steril alanlar için kurulan iklimlendirme sistemlerinde hava nakli nedeniyle oluşan enerji giderlerinin en düşük seviyeye indirilmesi, basınç kayıplarının azaltılmasıyla sağlanır. Bununla ilgili önlemlere aşağıdaki örnekler verilebilir:

- Kanal sistemi için mümkün olan en büyük kesitin seçilmesi,
- Çapraz geçiş ve çevrimlerin optimal tasarımı,
- Susturucuların, ızgara ve ayar kapaklarının büyük boyutlarda seçimi,

- Filtrelerin başlangıç basınç farkı, enerji tüketimini önemli ölçüde etkilediğinden, ön filtre ve HEPA filtrelerin büyük boyutlu seçimi,
- Kanal içi hava hızının 5 m/saniye'yi geçmemesine dikkat edilmesi,
- Kanal sisteminin birleşim yerlerinde mikroorganizmaların yerleşebileceği aralıkların en az seviyeye düşürülmesi,
- Kanal sisteminde gerekli yerlere temizleme ve dezenfeksiyon kapakları konulması,
- Kanal sisteminde oluşacak titreşimlerin zamanla kanal sisteminin kendi üzerinde ve asma tavanda ince aralıkların oluşmasına yol açma olasılığına karşı askı elemanlarının üzerinde titreşim yutucular bulunması,
- Kıvrımlı esnek bağlantıların kullanımından olanaklar elverdiğince kaçınılmalı, kullanılmasının kaçınılmaz olduğu durumlarda ise bunların uzunluğunun 1.5-2 m'yi geçmemesine ve kolay dezenfekte edilebilmesine dikkat edilmesi,
- Kanal sisteminde yukarıda belirtilenlerin dışında; üfleme menfezlerinin mümkün olduğu kadar yüksek karışım oranlı olmasına, susturucuların hijyenik şartlara göre üretilmiş olmasına ve üretimden kaynaklanan partiküllerin kanal sistemine girmesini önlemek için emme menfezlerinin önüne filtre konmasına dikkat edilmelidir.

4. Hava Üfleme Metodunun Seçilmesi

Temizlik sınıfı A olan bölümlerde hava akımının laminer ve 0.45 m/saniye \pm %20 olması tavsiye edilmektedir. Temizlik sınıfı B ve C olan bölgelerde ise hava menfez önü HEPA filtrelerden geçirildikten sonra yüksek karışım menfezleri ile steril alana üflenir. Yüksek karışım oranlı hava basma metodu, az partikül içeren hava ile partikül yoğunluğunun azaltılmasından oluşur. Temiz karışım havasının, odadaki hava ile mümkün olduğu kadar hızlı karışımı için ön koşul, akışkan tekniği açısından, alışıl gelmiş menfezler yerine havanın mümkün olduğu kadar yüksek karışım derecesini sağlayan menfezlerle üflenmesidir. Yüksek karışımli hava akımının kullanıldığı bölgelerde partikül yoğunluğunun azaltılması için gerekli hava miktarının hesaplanması, genelde beklenen partikül emisyon oranından ve buna bağlantılı olarak mikroorganizma sayısından yola çıkılarak yapılır. Ayrıca GMP ve ISO 14644 gibi kurallarda da gerekli olan hava değişim katsayıları ile ilgili tavsiyelerde bulunulmuştur. Hava üfleme metodu seçilirken esas olarak aşağıdaki hususlara dikkat etmek gereklidir:

- Ürünün nasıl bir ortamda ve temiz oda klasında üretileceğini belirlemek,
- Ürünün çalışan insanlara zarar vermesini önlemek,
- Çalışan insanların ürünü kirletmelerini önlemek,
- Hava yolu ile çapraz bulaşma tehlikesini ortadan kaldırmak.

Hijyen kategorisi düşük alanlar olarak kabul edilen steril koridorlar, sterilizasyon ünitesi, preoperatif üniteler vb. alanlarda hava HEPA filtrelerden geçirile-

rek yüksek karışım menfezleri ile steril alana üflenir. Buradaki türbülant akım, az partikül içeren havanın içeri verilerek alandaki partikül sayısının azaltılmasına yöneliktir.

Hijyen kategorisi daha yüksek olan yoğun bakım ünitelerinde ise, hava akımı yine türbülantdır. Ancak debi daha yüksektir.

Türbülant akım: Bu akım türü genelde infeksiyon tehlikesinin yüksek olmadığı operasyonların yapıldığı ameliyathanelerde seçilebilir. Alanın büyüklüğü veya küçüklüğü sistem kuruluşunu etkilemektedir. Küçük veya tavanı alçak alanlarda akım “şemsiye tarzı”; daha büyük alanlarda ise “jet destekli tavan ünitesi” kullanılmaktadır. Her iki sistemde hava akımını alanın ortasına yönlendirerek buradaki partikül sayısını periferik oranla daha düşük seviyeye indirmektir. Şemsiye tarzı sistemde hava odanın seçilen bir duvarının üst kısmından alana yönelir, alanı sirküle ettikten sonra tam karşı duvarda bulunan alt ve üst menfezlerden emilerek alandan uzaklaştırılır. Jet destekli tavan ünitesinde ise akım kaynağının yeri adından anlaşılacağı üzere tavanda, havanın yönleneceği ise alta doğru olmaktadır. Havanın emildiği sistem ise şemsiye tarzı akım ile aynıdır.

Her iki sistemin kurulumunda, hava giriş ve çıkış yerleri, havanın basınç, ısı ve nem oranlarının ne olması gerekliliği planlamada temel olup, ayrı bir mühendisliktir.

Sonuç olarak; steril alan sağlamak zor değildir, ama özellikle büyük bir yatırım yapıldığı zaman mikroorganizmaların bu alanlara yerleşip üremesini önlemek bütünsel bir planlamayla, kaliteli ve uzun ömürlü malzeme seçimine bağlıdır.

KAYNAKLAR

1. Lorenz R. Air conditioning systems. Acta Neurochir (Wien) 1980;55:49-61.
2. Drake CT, Goldman E, Nichols RL, Piatriszka K, Nyhus LM. Environmental air and airborne infections. Ann Surg 1977;185:219-23.
3. Cheong CD, Neumeister-Kemp HG, Dingle PW, Hardy GS. Intervention study of airborne fungal spora in homes with portable HEPA filtration units. J Environ Monit 2004;6:866-73 (Epub 2004 Oct 07).
4. Wang WH. Validation of the integrity of a HEPA filter system. Health Phys 2003;85(Suppl): 101-7.
5. Wang SH, Sheng WH, Chang YY, et al. Healthcare-associated outbreak due to pan-drug resistant *Acinetobacter baumannii* in a surgical intensive care unit. J Hosp Infect. 2003;53: 97-102.
6. Munoz P, Guinea J, Pelaez T, Duran C, Blanco JL, Bouza E. Nosocomial invasive aspergillosis in a heart transplant patient acquired during a break in the HEPA air filtration system. Transpl Infect Dis 2004;6:50-4.
7. Mattner F, Weissbrodt H, Strueber M. Two case reports: Fatal *Absidia corymbifera* pulmonary tract infection in the first postoperative phase of a lung transplant patient receiving voriconazole prophylaxis, and transient bronchial *Absidia corymbifera* colonization in a lung transplant patient. Scand J Infect Dis 2004;36:312-4.

8. Alberti C, Bouakline A, Ribaud P, et al. *Aspergillus* study group. Relationship between environmental fungal contamination and the incidence of invasive aspergillosis in haematology patients. *J Hosp Infect* 2001;48:198-206.
9. Kruger WH, Zollner B, Kaulfers PM, Zander AR. Effective protection of allogeneic stem cell recipients against Aspergillosis by HEPA air filtration during a period of construction-a prospective survey. *J Hematother Stem Cell Res* 2003;12:301-7.
10. Bouza E, Pelaez T, Perez-Molina J, et al. *Aspergillus* study team. Demolition of a hospital building by controlled explosion: The impact on filamentous fungal load in internal and external air. *J Hosp Infect* 2002;52:234-42.
11. Raucher BG. Infection control in pulmonary and critical care medicine. *Semin Respir Infect* 1999;14:372-82.
12. Reisman RE, Mauriello PM, Davis GB, Georgitis JW, DeMasi JM. A double-blind study of the effectiveness of a high-efficiency particulate air (HEPA) filter in the treatment of patients with perennial allergic rhinitis and asthma. *J Allergy Clin Immunol* 1990;85:1050-7.
13. Soots G, Leclerc H, Pol A, Savage C, Fieve R. Air-borne contamination hazard in open heart surgery. Efficiency of HEPA air filtration and laminar flow. *J Cardiovasc Surg (Torino)* 1982;23:155-62.
14. Drake CT, Goldman E, Nichols RL, Piatriszka K, Nyhus LM. Environmental air and airborne infections. *Ann Surg* 1977;185:219-23.
15. Aksaray S, Dokuzoguz B, Guvener E, et al. Surveillance of antimicrobial resistance among gram-negative isolates from intensive care units in eight hospitals in Turkey. *J Antimicrob Chemother* 2000;45:695-9.
16. Babini GS, Livermore DM. Antimicrobial resistance among *Klebsiella* spp. collected from intensive care units in Southern and Western Europe in 1997-1998. *J Antimicrob Chemother* 2000;45:183-9.
17. Bal Ç, Bauernfeind A, Aydın A, Ang Ö. Çoğul dirençli *Klebsiella pneumoniae* suşlarında plazmidik sefamisinaz CMY-2. *İnfeksiyon Derg* 1995;9:67.
18. Diekema DJ, Pfaller MA. Infection control epidemiology and clinical microbiology. In: Murray PR, Baron EJ, Jorgensen JH, Pfaller MA, Tenover FC, Tenover FC (eds). *Manual of Clinical Microbiology* 8th ed. Washington: Am Soc Microbiol 2003:129-38.
19. French GL, Philips I. Antimicrobial resistance in hospital flora and nosocomial infections. In: Mayhall CG (ed). *Hospital Epidemiology and Infection Control*. Baltimore: Williams and Wilkins, 1996;980-99.
20. Gales AC, Jones RN, Forward KR, Linares J, Sader HS, Verhoef J. Emerging importance of multidrug-resistant *Acinetobacter* species and *Stenotrophomonas maltophilia* as pathogens in seriously ill patients: Geographic patterns, epidemiological features, and trends in the SENTRY Antimicrobial Surveillance Program (1997-1999). *Clin Infect Dis* 2001;32(Suppl 2):104-13.
21. Gales AC, Jones RN, Turnidge J, Rennie R, Ramphal R. Characterization of *Pseudomonas aeruginosa* isolates: occurrence rates, antimicrobial susceptibility patterns, and molecular typing in the global SENTRY Antimicrobial Surveillance Program, 1997-1999. *Clin Infect Dis* 2001;32(Suppl 2):146-55.
22. Gazouli M, Kaufman ME, Tzelepi LS. Study of an outbreak of cefoxitin-resistant pneumonias in a general hospital. *J Clin Microbiol* 1996;35:508-10.
23. Nordmann P, Ronco E, Naas T, Dupont C, Michel-Briand Y, Labia R. Characterization of a novel extended-spectrum beta-lactamase from *Pseudomonas aeruginosa*. *J Antimicrob Chemother* 1993;37:962-9.

24. Poirel L, Heritier C, Podglajen I, Sougakoff W, Gutmann L, Nordmann P. Emergence in *Klebsiella pneumoniae* of a chromosome-encoded SHV beta-lactamase that compromises the efficacy of imipenem. *Antimicrob Agents Chemother* 2003;47:755-8.
25. Quinn JP. Clinical problems posed by multiresistant nonfermenting gram-negative pathogens. *Clin Infect Dis* 1998;27(Suppl 1):117-24.
26. Christie CD, Heikens GT, McFarlane DE. Nosocomial and community-acquired infections in malnourished children. *J Trop Med Hyg* 1988;91:173-80.
27. Edmond MB, Wallace SE, McClish DK, Pfaller MA, Jones RN, Wenzel RP. Nosocomial bloodstream infections in United States Hospitals: A three-year analysis. *Clin Infect Dis* 1999;29:239-44.
28. Fitzpatrick F, Prout S, Gilleece A, Fenelon LE, Murphy OM. Nosocomial aspergillosis during building work-a multidisciplinary approach. *J Hospital Infect* 1999;2:170-1.
29. Fridkin SK, Jarvis WR. Epidemiology of nosocomial fungal infections. *Clin Microbial Rev* 1996;9:499-511.
30. Kenter M. Hijyenik Klima Sistemleri (Anios – Sterilizasyon Dezenfeksiyon Hastane İnfeksiyonları Sempozyumu Samsun, 21-22 Ekim 1999).
31. Mak. Yük. Müh; Prof. Dr. Özkaynak T. Hijyenik Ortam Klima Santralleri ve Kaynak Sistemlerinde Aranan Özellikler (TTMD Dergisi, Mayıs-Haziran 2001).
32. Amschler, Dr. Uwe; Behördenanforderungen an Reine Bereiche und deren Konzepte (Swiss Pharma 23, 2001)
33. Mak. Yük. Müh; Dr. Bilge M. Temiz Oda Tasarım Kriterleri ve Testleri (TTMD Dergisi, Mayıs-Haziran 2001).
34. Kenter M. Steril Üretimde Temiz Oda Planlama Kriterleri (TTMD Dergisi, Mart-Nisan 2003).
35. İnşel Ltd. Temiz Oda Uygulama El Kitabı.