

Projektni kriterijumi i parametri ventilacionih sistema u prostorijama namenjenim pacijentima kojima se presađuje koštana srž

*Prof. Sandro Salvinji (Salvigni), dipl. inž.,
dr Stefano Piva, dipl. inž., Istituto di Fisica
Tecnica, Facolta di Ingegneria, Bologna,
Italia, i dr Santa Macakane (Mazzacane),
dipl. inž., Universita di Firenze, Italia*

1. Uvod

Značajno povećanje patologija koje sobom nosi intervencija presađivanja koštane srži (PKS), dovodi do toga da se različite bolničke strukture moraju suočiti sa izgradnjom posebnih odeljenja u kojima je garantovan visok stepen sterilnosti sredine. Pacijenti podvrgnuti PKS, zbog velikog stepena imunodepresije, moraju biti na odgovarajući način zaštićeni od patogenih agenasa koji potiču iz spoljne sredine i/ili nastaju unutar zgrada, iz mnoštva izvora, među kojima su i sami pacijenti.

Mada je dobro poznato da je pozitivno sprovođenje terapije u tesnoj vezi sa stepenom sterilnosti prostorija za oporavak, ne postoje precizne sanitarne norme. Zbog toga su parametri i kriterijumi projektovanja, koje treba poštovati pri realizaciji odeljenja namenjenih ovim bolesnicima,

U zdravstvenim objektima u kojima leže pacijenti kojima se presađuje koštana srž, neophodno je garantovati izolacione nivoe "klase 100" (3 500 ppm), da bise obezbedio potreban stepen čistoće vazduha u prostorijama. Nivo nužne sterilnosti se može postići uvođenjem spoljnog vazduha u prostoriju prateći tri različite osnovne seme, različite za krajnje jedinice i stope spoljnog i recirkulacionog vazduha. U radu su upoređena tri različita ventilaciona sistema, a analiziran je tipični aranžman zdravstvenog objekta namenjenog smeštaju pacijenata kojima se presađuje koštana srž.

veoma nesigurni. Jedine indikacije je objavilo Ministarstvo zdravlja, prilikom donošenja izvesnih zakona. Iako ti zakoni imaju veliki značaj, ne može se reći ni da su dovoljni, niti primenljivi u konkretnom slučaju. Neophodno je stoga uraditi sistematsku studiju sa ovom temom. Ona bi polazila od kritične analize postojećih podataka i omogućila da se uporede različite radne hipoteze.

2. Parametri i kriterijumi projektovanja

Najpogodniji parametar pri izražavanju kvaliteta vazduha u bolničkoj prostoriji je sigurno broj čestica koje stvaraju kolonije bakterija po m (CFU/m³) [3].

Sa tehničke tačke gledišta, mnogo je zgodnije poći od ukupne koncentracije čestica u vazduhu, uz pomoć podudarnosti koja se eksperimentalno utvrđuje sa određenom nesigurnošću [4], između CFU i ukupne koncentracije čestica (P/m³). Ovo nam pruža polaznu tačku i na taj način možemo koristiti poznate metode proračuna kvaliteta vazduha, naročito pri izradi krivih efikasnosti uređaja za filtriranje.

Najbolje operacione sale u mirnom stanju, odnosno bez prisustva ljudi, mogu garantovati stepen ukupne koncentracije čestica prečnika većeg od 0,5 μm, ne veći od 3500 P/m³, koja odgovara CFU/m³, praktično nemerljivom. Imajući to u vidu, postavlja se cilj nazvan "klasa 100" [3, 5], da se ovakvi uslovi postignu i za prostorije za izolaciju pacijenata koji se podvrgavaju PKS. U našem oglednom slučaju, taj cilj se mora dostići u prisustvu ljudi, a samim tim su uslovi teži od onih u operacionim salama. Da bi se izmerila moguća koncentracija u funkciji koncentracije čestica unesenih razmenom vazduha i unutrašnjom proizvodnjom, pribegli smo metodologiji Standarda ASHRAE 62-1989 [6].

Polazeći od toga, ispitane su karakteristike vazduha koji se normalno nalazi oko sedišta bolničkih struktura. Mada su raspoloživi podaci veoma promenljivi i umnogome zavise od lokacije bolnice, zbog produktivne aktivnosti i okolnih

staništa, može se opravdano uzeti da je broj čestica prečnika većeg od $0,5 \mu\text{m}$ koje se nalaze u atmosferi $15 \times 10^6/\text{m}^3$. Ova vrednost se može posmatrati kao koncentracija čestica u vazduhu na ulazu u jedinice za preradu vazduha (JPV), a u nedostatku specifičnih tretmana filtriranja, kao koncentracija čestica prisutnih u vazduhu unesenom u bolničku prostoriju, kroz normalne uređaje za ventilaciju i klimatizaciju.

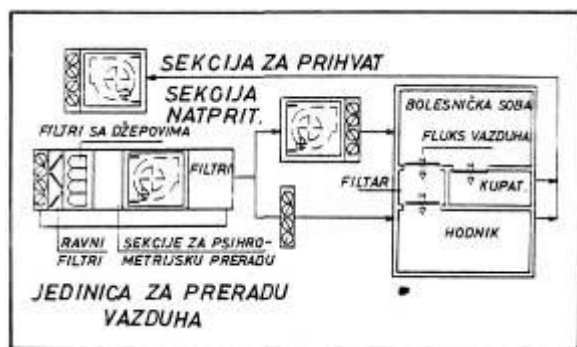
U samim prostorijama, postoje različiti izvori čestica: pacijenti, bolnički personal, posetioci, medicinski instrumenti i hrana. Sam pacijent podvrgnut PKS za takođe značajan izvor čestica, koji, zavisno od aktivnosti, može osloboditi promenljivu količinu u intervalu između 50 000 i 350 000 P/min. Ove vrednosti odražavaju i proizvodnju čestica koja se može pripisati prisustvu drugih ljudi u prostorijama.

Teško je proceniti i veoma je promenljiva, od slučaja do slučaja, produkcija čestica medicinskih instrumenata i hrane iz bolničke kuhinje. Pored toga, jasno je da materijali od kojih su načinjeni kreveti (madraci, čaršavi, prekrivači, jastuci) i odeća i rublje pacijenata, predstavljaju značajne izvore čestica. Još jedan, veoma važan, izvor biološki aktivnih čestica je voda, koja se neizbežno zadržava na sanitarijama, a naročito u odvodnim sifonima.

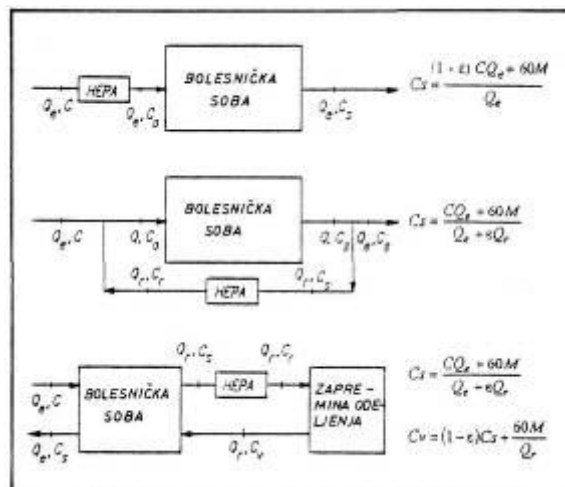
Ako uzmemo u obzir ove spoljne i unutrašnje izvore čestica, shvatićemo da je veoma teško obezbediti unutar svake izolacione zone namenjene prijemu pacijenata podvrgnutih PKS, koncentraciju čestica manju od $3\,500 \text{ P/m}^3$. Ovo je vrlo teško izvodljivo i zahteva u svakom slučaju primenu posebnih tehničkih i projektantskih veština.

Prvenstveno treba obezbediti strogu kontrolu ulaznih i izlaznih vazдушnih flukseva, budući da je vazduh u epidemiološkom lancu, osnovni prenosilac čestica [7].

Da bismo sproveli takvu kontrolu, neophodno je predvideti mehaničku ventilaciju prostorija, kojom se postiže i različiti pritisak u njima, posebno u onim namenjenim pacijentima podvrgnutim PKS, gde pritisak mora biti pozitivan u odnosu na okolni prostor, bilo da su to druga bolnička odeljenja, ili spoljna sredina. Neophodno je odeljenje za prijem pacijenata koji se podvrgavaju PKS, kao i hodnike tog odeljenja i druge uslužne prostorije, održavati u uslovima laganog natpritisaka od 5 Pa u odnosu na susedna odeljenja i spoljnu sredinu. Takođe su potrebni lokalni filteri između bolesničkih soba i ulaznih hodnika, kao i sistemi za otvaranje vrata, kojima se izbegava eventualna promena pritiska, vetrom izazvanih flukseva vazduha. Kao što je, uostalom, utvrđeno iskustvom [3, 8], dovoljni su diferencijali pritiska jačine 25–30 Pa, koji obezbeđuju sigurne uslove zbog ispravnog upravljanja vazдушnih flukseva.



Slika 1. Šema postrojenja koje može garantovati upravljanošću flukseva



Slika 2. Šeme različitih projektantskih rešenja

U bolničkim prostorijama za bolesnike kojima se preporučuje koštana srž, mora se održavati pozitivna vrednost pritiska od oko 30 Pa, dok se odgovarajuće higijenske aktivnosti kojima se izvlači otpadni vazduh, obavljaju pri pozitivnom pritisku od oko 25 Pa. Lokalni filteri, kojima nije neophodno ni ubacivanje ni izbacivanje vazduha, imaće pritisak čija je visina između onog u bolničkim sobama i onog u hodnicima, odnosno između 15 i 20 Pa. Tipična šema postrojenja koje može garantovati postizanje svih navedenih ciljeva je na slici 1, na kojoj se vidi kako se natpritisak bolničkih soba može postići primenom drugog aparata za ventilaciju, uz aparat JPV. Treba dakle voditi računa o kontroli pritiska i aseptičnosti vazduha, a svi uređaji za ventilaciju moraju imati i zalihe koje garantuju kontinuitet u radu. Zbog toga se svi uređaji moraju napajati iz posebne, prioritetne električne veze.

3. Uređaji za klimatizaciju

Postizanje kvaliteta unutrašnjeg vazduha u prostorijama za prijem pacijenata podvrgnutih PKS, odnosno koncentracije čestica manje od $3\,500 \text{ P/m}^3$, zahteva da se vazduh koji se ubacuje u prostorije prethodno filtrira apsolutnim filterima, garantovane efikasnosti ne manje od 99,99% za čestice prečnika većeg od $0,5 \mu\text{m}$. Kako spoljni vazduh sadrži veliki broj tih čestica, da bi se garantovali razuman radni vek i veća postojanost apsolutnim filterima, treba obaviti i predfiltraciju filterima čija efikasnost nije manja od 85 do 90%; oni mogu eliminisati sve čestice koje izazivaju brzo zagušenje apsolutnih filtera. Predfiltracija se može vršiti pri ulasku vazduha u JPV, ali se apsolutna filtracija mora obavljati na ulasku u svaki njen aparat, a najbolje u blizini prostorija u koje vazduh treba da bude ubačen. Odavno je poznato da se u kanalima postrojenja za klimatizaciju stvara minimum čestica koje su i biološki aktivne, koje vazduh nosi sobom i ubacuje u prostoriju zajedno sa vazduhom [9]. To se može zanemariti kada je u pitanju vazduh koji se ubacuje u hodnike i uslužne prostorije odeljenja, u kojima nije neophodan nivo čistoće klase 100. U prostorijama za izolaciju pacijenata podvrgnutih PKS, to, naravno, nije prihvatljivo. Pošto projektantska rešenja čine neizbežnim prisustvo značajnih delova razvodne mreže, kao i drugih organa između JPV i bolesničkih soba, vazduhu ubačenom u bolesničke sobe treba pripisati ukupni nivo koncentracije čestica ne manji od $35\,000 \text{ P/m}^3$, koji odgovara klasi 100 [5]. Vidi se da je druga apsolutna filtracija vazduha neophodna za prostorije u kojima je potrebna klasa 100.

Druga apsolutna filtracija se može izvršiti različitim projektantskim tehnikama, ali uz promenjene troškove postrojenja i rukovođenja, kao i uslove ugodnosti. Podsetimo se, kao što je naznačeno u [10], da minimalni broj izmena vazduha neophodan da bi se unutar bolesničkih soba postigli prihvatljivi uslovi termohigrometrijske ugodnosti (temperatura 27—28°C i relativna vlažnost vazduha u intervalu 40-60%), ne može biti manji od 4. Ova vrednost se može pokazati nedovoljnom i mora se podići na 7 kada postoje toplotna opterećenja pripisivana sistemima za filtraciju koji zahtevaju primenu ventilatora za recirkulaciju, smeštenih unutar prostorija. Polazeći od ovog neophodnog uslova i postavljajući cilj da ukupna koncentracija čestica mora biti manja od 3500 p/m³, uporedili smo tri različita rešenja, čija se osnovna šema nalazi na slici 2.

Na istoj slici su i krajnji izrazi, koji omogućavaju procenu ukupne koncentracije čestica po ASHRAE 62—1989 [6].

- druga apsolutna filtracija filtrima unutar bolesničke sobe odmah na izvoru dovedenog vazduha u prostoriju; ovom tehnikom sav dovedeni vazduh u bolesničku prostoriju izvlači se kroz susednu higijensku prostoriju i delimično izlazi u hodnik, prolazeći indirektnim fluksom kroz lokalni filter;
- sistem za apsolutnu filtraciju sa autonomnim uređajima za filtriranje, instaliranim unutar same bolesničke sobe, sa sopstvenim ventilatorom za recirkulaciju. U ovom rešenju razmenjeni vazduh iz centralnog uređaja uvodi se u svaku bolesničku sobu posebno, sa dovodom odgovarajućim da se suoči samo sa toplotnim opterećenjem;
- posebni modul, postavljen u svaku bolesničku sobu, koji može izvršiti apsolutnu filtraciju reciklirajući vazduh, ili samo jedan deo sobe, naročito površinu oko kreveta, gde se stvara horizontalni ili vertikalni pločasti fluks. Ova tehnika se razlikuje od one opisane pod b), utoliko što donosi različite vrednosti koncentracije čestica u dvema zonama, na koje je podeljena soba. Ovim rešenjem se razmenjeni vazduh iz centralnog uređaja takođe uvodi u svaku sobu, sa odgovarajućim dovodom koji se suočava samo sa toplotnim opterećenjem. U tom slučaju se postizanje klase 100 može pretpostaviti ili u zoni koja nije podeljena (C/1), ili u zoni pločastog fluksa (C/2).

Određena na 3500 P/m³ (klasa 100), ukupno dozvoljena koncentracija čestica u bolesničkoj sobi zapremine 80 m³, sa 35.000 P/m³ dovedenog vazduha i pretpostavljenom efikasnošću filtra HEPA od 0,9999, izračunata

je, u funkciju unutrašnje produkcije čestica, vrednosti izmena vazduha ($n_e = Q_e/V$) i recirkulacije ($n_r = Q_r/V$) neophodna za razna predložena projektantska rešenja. Rezultati te analize su u tabeli 1, gde su za slučaj C navedene i koncentracije čestica koje se postižu u zoni pločastog fluksa, za slučaj C/1 i u nepodeljenoj zoni za slučaj C/2.

Sva ova tri rešenja mogu obezbediti postizanje klase 100 u pogledu prihvatljivih vrednosti operativnih parametara, ali se razlikuju u pogledu troškova instaliranja, rukovođenja i ugodnosti u prostoriji.

Rešenje A donosi povećanu vrednost izmena/sat dovedenog vazduha, veću od neophodne za postizanje zadovoljavajućih termohigrometarskih uslova, a samim tim dovodi i do veće potrošnje energije. Ono nudi veći stepen ugodnosti u bolesničkim sobama, u pogledu termohigrometrije i akustike, ukoliko ne postoje pokretni mehanički organizmi u bolesničkoj sobi. Pruža bolji kvalitet vazduha i u uslužnim zonama, često najkritičnijim, jer voda koja se zadržava na sanitarijama i sifonima predstavlja idealan teren za množenje bakterija.

Rešenjem b) se u bolesničkoj sobi može postići visoki stepen sterilnosti, mada sa ograničenom vrednošću izmena/sat dovedenog vazduha i manjom potrošnjom energije. Ovo rešenje ipak podrazumeva potrošnju električne energije za rad ventilatora za recirkulaciju i manji stepen ugodnosti u prostorijama. Prvi razlog je sigurno buka ventilatora, a onda i to što ne garantuje potreban kvalitet vazduha u uslužnim zonama. Za rešenje C/1 važe uglavnom iste karakteristike kao i za rešenje b). Osnovna razlika je veći stepen sterilnosti, koji se može postići u zoni pločastog fluksa (podeljena zapremina). Rešenje C/2 omogućava manju recirkulaciju u odnosu na rešenja C/1, ali ne obezbeđuje potreban kvalitet vazduha u neophodnoj zoni bolesničke sobe.

4. Zaključak

Prostorije namenjene prijemu pacijenata kojima se presađuje koštana srž, moraju se projektovati tako da obezbede ukupnu koncentraciju čestica, prečnika većeg od 0,5 μm, manju od 3 500 P/m³. Taj cilj zahteva primenu posebnih tehnika, kako bi se, različitim pritiskom u različitim zonama, postigla stroga kontrola vazdušnih flukseva. Pre nego što se dovode u različite zone na koje se odeljenje deli, vazduh se mora podvrgnuti apsolutnom filtriranju. Međutim, u bolesničkim sobama sa pacijentima podvrgnutim PKS mora se izvršiti i druga apsolutna filtracija.

Tabela 1. Projektni parametri za različita predložena rešenja M (P/min)

		M (P/min)						
		50 000	100 000	150 000	200 000	250 000	300 000	350 000
Slučaj A	n_e	11	21	32	43	54	64	75
	n_r	0	0	0	0	0	0	0
Slučaj B	n_e	7	7	7	7	7	7	7
	n_r	74	84	95	106	117	127	138
Slučaj C/1	n_e	7	7	7	7	7	7	7
	n_r	73	84	95	106	117	127	138
	C_v	510	890	1 180	1420	1610	1770	1900
Slučaj C/2	n_e	7	7	7	7	7	7	7
	n_r	11	21	32	43	54	64	75
	C_s	15 940	11250	9130	7 920	7 140	6 590	6 190

Uporedili smo tri rešenja koja mogu garantovati postizanje klase 100. Izbor između ova tri rešenja, koja se razlikuju po ceni instalisanja, u rukovanju i prema ugodnosti u prostoriji, može se izvršiti na osnovu kritičke procene odnosa cena i prednosti. Ovaj odnos će imati različite vrednosti u raznim slučajevima, naročito u slučaju nove gradnje, ili prepravljanja postojećih bolničkih odeljenja.

Literatura

- [1] *** : Legge n. 135 del 5 Giugno 1990, *Programmi di intervento urgenti per la prevenzione e la lotta contra l'AIDS*.
- [2] *** : Ministero della Sanità, Servizio Centrale della Programmazione Sanitaria, *Linee guida e standard di riferimento per la progettazione di strutture ospedaliere destinate al trattamento delle malattie infettive*, Roma (1991).
- [3] Macclari, V. M. Grigioni: *Il condizionamento dell'aria in camera operatoria: urgenza di una normativa italiana*, 12th International Congress of Hospital Engineering, Bologna, 25-29 Maggio 1992, pp. 241-243.
- [4] Tang, H., Yoshizawa, S., Fan, C., Liu, C: *Particle size distribution and correlation between biological and total particles in clean operating rooms*, Proceedings of the 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Helsinki, Finland, July 4-8, 1993, Vol. 4, pp. 255-260.
- [5] *** : USA Federal Standard 209 D, *Clean Room and Work Stations Requirements*, Controlled Environment, 1988.
- [6] *** : ASHRAE Standard 62-1989, *Ventilation for acceptable Indoor Air Quality*, 1989.
- [7] Salvigni, S., Piva, S.: *Ventilation systems for hospital rooms devoted to immune compromised and/or infectious patients*, Proceedings of the 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Helsinki, Finland, July 4-6, 1993, Vol. 5, pp. 587-592.
- [8] Hoet, T.: *La qualità dell'aria negli ospedali*, Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento, Refrigerazione, Vol. 36, pp. 1067-1074 (1992).
- [9] Murrev, W. A., Streifel, A. J., O'Dea, T. J., and Rhame, F. S.: *Ventilation for protection of immune compromised patients*, ASHRAE Transactions, Vol. 94, part 1, pp. 1185-1191 (1988).
- [10] Salvigni, S., Piva, S.: *Gli impianti per le strutture ospedaliere destinate al trattamento delle malattie infettive*, Condizionamento dell'Aria, Riscaldamento, Refrigerazione, Vol. 36, pp. 1725-1732 (1992).

kgh