

OPATŘENÍ PROTI INFEKCI COVID-19 NA OPERAČNÍCH SÁLECH a JIP

Karel Doušek, Ing. Karel Doušek, CSc.-Airtechnik

V současnosti se v nemocnicích často objevuje problém s ošetřením COVID pozitivního pacienta na operačním sále a s jeho pobytem na JIP, i když původně k tomu nebyly určeny.

Standardně jsou operační sály (OPS) a jednotky intenzivní péče (JIP) v nemocnicích řešeny jako čisté (aseptické) prostory, které zajišťují ochranu proti vnější kontaminaci a zajišťují dostatečně nízkou úroveň vnitřní kontaminace způsobené personálem a pacientem. Nepředpokládá se v nich ošetřování pacienta s nebezpečnou infekcí přenosnou vzduchem. Takové prostory jsou navrženy jako aseptické s přetlakem proti okolí, tj. s prouděním vzduchu „ven“ do příslušenství a na nečistou chodbu.

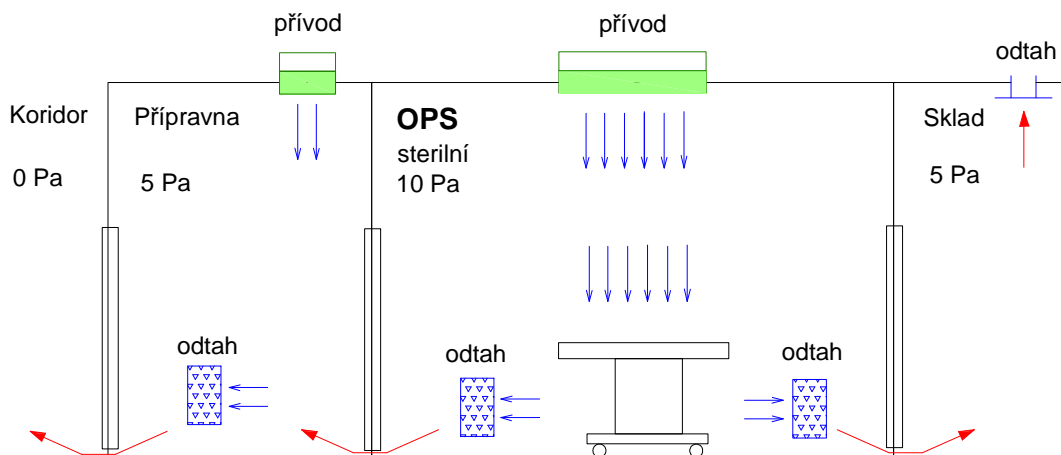
Pro takové prostory platí pravidla, která jsou v USA podrobně popsána směrnicemi CDC [3], [4] pro prostory s „Ochranou prostředím (PE)“ a v Evropě např. normou DIN 1946-4 [1] pro „aseptické prostory“. Z těchto předpisů se obvykle vychází i u nás a jsou v nich uvedeny následující požadavky.

Požadavky na aseptické prostory OPS a JIP

1. v OPS přívod vzduchu přes HEPA filtry v operačním stropě dostatečnou rychlostí $\geq 0,25$ m/s zajišťuje krytí místa výkonu v OPS nevířivým přívodem absolutně čistého vzduchu (ISO Class 5) a aseptické prostředí OPS (obvykle odpovídající vzduchu ISO Class 7).
2. dostatečná výměna vzduchu v OPS ≥ 12 h⁻¹ (minimum dle CDC [3])
3. směry proudění v operačním sále zamezující víření kontaminace produkované personálem a pacientem a tím její šíření do prostoru místnosti
4. V zákrových sálech s nižšími nároky nebo v JIP (čistota vzduchu ISO Class 8) postačuje dostatečný průtok čistého vzduchu výstřiky s HEPA filtry, který zajistí ochranu proti kontaminaci výměnou vzduchu ≥ 12 h⁻¹ (minimum dle CDC [3]). Na výměně vzduchu závisí doba dekontaminace viz dále.
5. přetlak v OPS a příslušenství, nebo v JIP proti nečistému okolí zajišťující „správné“ směry proudění vzduchu. Minimální přetlak dle CDC je 3 - 8 Pa.

OBR.1 Příklad uspořádání aseptického prostoru OPS.

Pozn. 1 obrázek slouží k zobrazení proudění v sále a mezi místnostmi a nezahrnuje celé příslušenství sálu



Opatření proti šíření infekce z OPS nebo JIP

Uspořádání sálu podle OBR.1 v případě, že je ošetřován pacient s infekcí přenosnou vzduchem, nezajišťuje bez dalších opatření ochranu okolí.

Pro ochranu proti šíření infekce vzduchem do okolí a ochranu personálu je třeba dodržet následující opatření

1. směry proudění v sále musí zajistit odchod možných infekčních kapének produkovaných pacientem co nejrychleji do odtahu vzduchotechniky.

Pozn. Při správném uspořádání proudění v OPS nedochází k víření a infekční vzduch je odtahován do odtahu mřížkami. „Správnost“ proudění lze snadno ověřit vizualizací proudění.

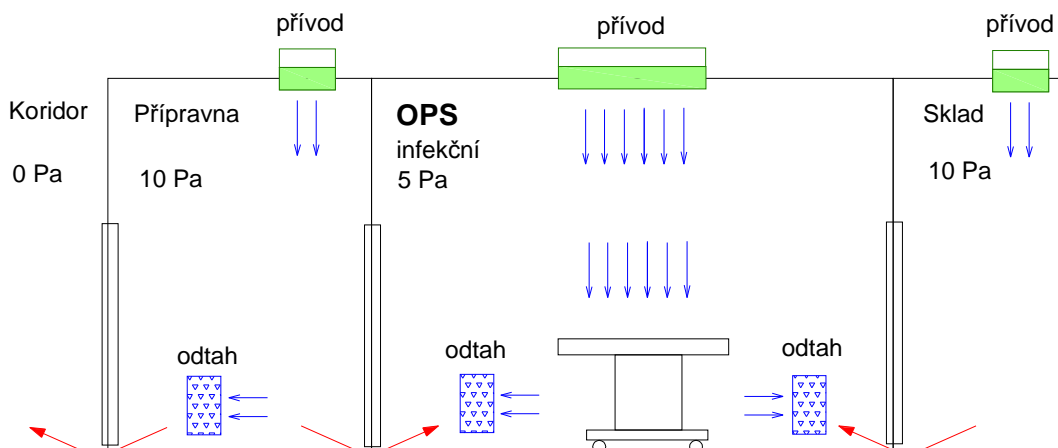
2. ochrana okolí tlakovou bariérou (příklad provedení podle CDC USA pro prostory „Izolace infekce přenosné vzduchem“ (AII). Obdobný požadavek je definován tabulkou směrů proudění mezi septickými místnostmi podle normy DIN 1946-4 [1]
3. Při ošetřování pacienta používat ochranné pomůcky a manipulovat s nimi jako s infekčním materiálem.
4. Zajistit periodickou dekontaminaci prostoru a povrchů v OPS a JIP. Při chemické dekontaminaci vypnout vzduchotechniku sálu a následně před vstupem osob dodržet dostatečnou dobu odvětrání.
5. Dodržovat zavírání dveří, otevírat je jen na co nejkratší nezbytnou dobu.

Sály i JIP lze podle uvedených zásad navrhnout jako bezpečné proti šíření infekce tak, že je okolí odděleno od infekčního prostoru sálu (JIP) přetlakovou bariérou, viz doporučení DIN 1946-4 [1] nebo CDC USA [3].

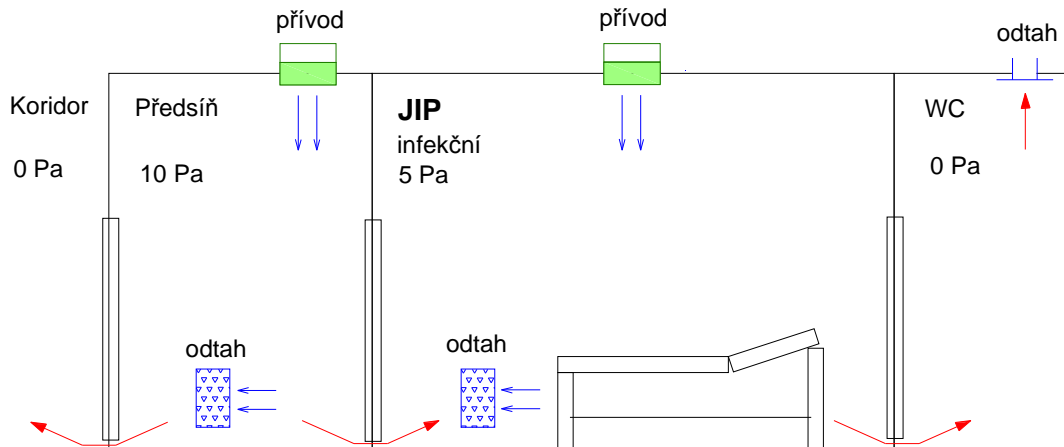
Pozn.2 Je zřejmé, že hlavním požadavkem zajišťující ochranu okolí je změna přetlaků v prostorech navazujících na OPS.

Pozn.3 V USA je v nemocnicích doporučeno udržovat určitý podíl infekčních sálů a JIP pro potenciálně infekční pacienty zejména s TBC a dalšími infekcemi. Počet takových sálů a JIP určí analýzou rizik odborný útvar nemocnice.

OBR.2 Příklad uspořádání septického (infekčního) prostoru OPS odděleného od okolí přetlakovou bariérou. Obvykle lze přetlakovou bariéru v přípravně vytvořit „přivřením“ odtahu v přípravně tak, aby přetlak v OPS byl menší.



OBR.3 Příklad uspořádání septického (infekčního) prostoru JIP odděleného od okolí přetlakovou bariérou.



2. Dekontaminace prostoru výměnou vzduchu

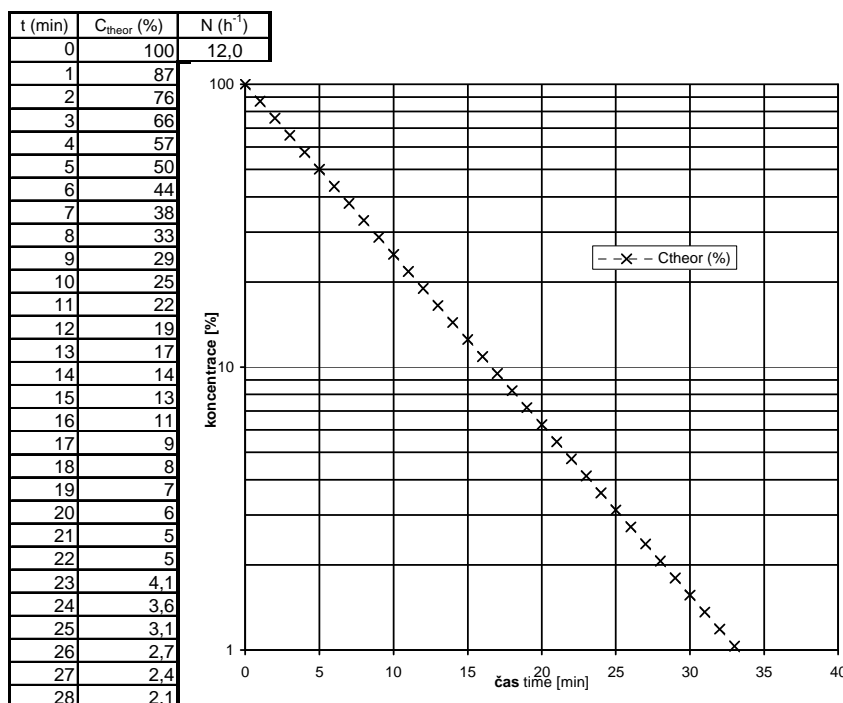
Zkontaminuje-li se prostor, lze ho dekontaminovat **přívodem čistého vzduchu** bez kontaminace (tj. bez nežádoucích plynů, částic, mikroorganismů). V prostoru pak dochází k exponenciálnímu poklesu kontaminace. Dekontaminovat prostor lze i dostatečně účinným cirkulačním filtrem.

Za předpokladu správně uspořádaného větrání bez „zkratů“ a „mrtvých zón“ závisí doba regenerace (recovery time) exponenciálně na výměně vzduchu v místnosti, t.j. na podílu průtoku vzduchu a objemu místnosti.

Dekontaminaci po ukončení produkce kontaminace např. operačního sálu větráním čistým vzduchem lze ověřit testem regenerace = recovery test.

Doba regenerace (recovery time) odpovídá času, za nějž **poklesne** počáteční koncentrace kontaminace **100x**, pokles **10x** nastane za **1/2 doby regenerace**, pokles **1000x** za **1,5 doby regenerace**

OBR.3 Pokles kontaminace v operačním sále při větrání čistým vzduchem pro výměnu 12 h^{-1} .



Z křivky uvedené v obrázku plynou pro kontaminaci v prostoru následující závěry:

Po ukončení produkce kontaminace (odvoz infekčního pacienta) nastane v prostoru

- Pokles o řád (10x) nastane za 16,5 min
- Pokles za 30 minut je 63x
- Pokles o 2 řády (100x) nastane za 33 min
- Pokles o 3 řády (1000x) nastane za 50 min

Pozor! závěry platí jen pro prostor s výměnou vzduchu 12, pro větší výměnu se časy zkrátí, pro menší se prodlouží.

Tab.1 Závislost doby regenerace na výměnách vzduchu v OPS (pokles kontaminace 100x).

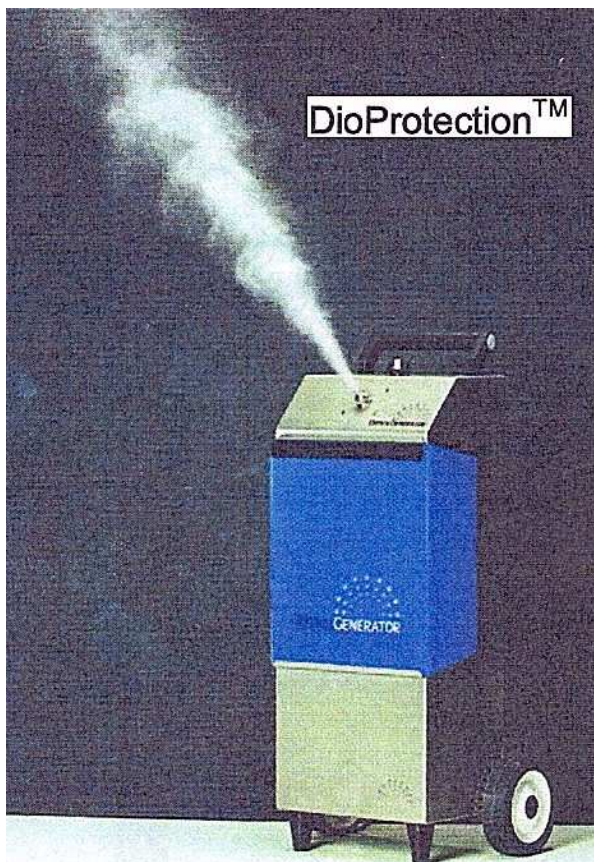
operační sál	výměna vzduchu [1/h]		doba regenerace [min]	
	projekt	skutečnost	projekt	skutečnost
A	16,5	12,2	24	33
B	16,5	7,2	24	55
C	20,9	9,1	18	44

Pozn. Je vidět, že zařízení vzt (HVAC) v daném případě není správně udržováno neb průtoky vzduchu a jeho výměny jsou významně nižší než projektované a tím se zhoršuje čistota vzduchu v OPS a prodlužují se doby regenerace tj. odvětrání kontaminace.

4. Dekontaminace rizikových míst povrchů místnosti **omytím povrchů**

Pro dekontaminaci lze použít standardní postup omytí vhodným **desinfekčním prostředkem** ve správné koncentraci. Personál musí používat ochranné prostředky a respirátory min FFP2. Pozor! s použitými ochrannými prostředky je třeba zacházet jako s nebezpečným infekčním materiálem.

5. Dekontaminace prostorová peroxidem vodíku rozprašovaným zařízením DioProtection [5]



Podle návodu výrobce zařízení je pro rozprašování desinfekčního roztoku Diosol 8 % pro dostatečnou účinnost desinfekce nutno dosáhnout koncentraci v prostoru 4 ml/ m³ . Z toho plyne pro daný objem místnosti nutné množství roztoku i doba odvětrání.

TAB.2 Doba odvětrání OPS

	objem sálu [m ³]	výměna vzduchu [1/h]	množství Diosol 8 pro 4 ml/ m ³ [l]	pokles na 1 ppm za [min]
sál A	152	12,2	0.61	41
sál A	152	7,2	0,61	68
sál C	120	9,1	0,48	55

Pro odvětrání účinné koncentrace vytvořené v prostoru 4ml/m³ roztokem Diosol 8 tj. cca 330 ppm H₂O₂ na povolenou koncentraci v pracovním prostředí pro 8 hodinový pobyt osob 1 ppm je třeba pokles cca **330x**, který nastane za dobu cca **1,25 doby regenerace** prostoru (za dobu regenerace nastane pokles 100x).

6. Dekontaminace prostorová zařízením s „plasmou“ [6], [7]

Na trhu je v současnosti nabízeno zařízení s kombinací filtrace a částečné inaktivace mikroorganismů. Přístroj DEFEND 1050 firmy NOVAERUS pracuje na principu částečné inaktivace mikrobiální kontaminace průchodem vzduchu přes skříň, v níž je umístěn předfiltr, filtr H13, ventilátor a zdroje nízkoenergetické plasy. Plasma je vyvíjena tyčovými zdroji s UV výbojkami umístěnými uvnitř elektrod s vysokým napětím. Kolem vnějších děrovaných válcových elektrod vzniká kolísavý oblak studené nízkoenergetické plasy, která do určité vzdálenosti od elektrod ničí mikroorganismy a proto část mikroorganismů přichází do koncového HEPA filtru již neaktivní. Plasma nepůsobí v prostoru mimo skříň zařízení (nepůsobí v místnosti).



Přístroj čistí vzduch, který jím prochází, přibližně se stejnou účinností jako jiné cirkulační zařízení obsahující vysokoúčinný (HEPA) filtr H13. Snížení mikrobiální kontaminace v prostoru pak vychází stejně jako u jiných filtračních systémů tj. závisí na výměně vzduchu v prostoru vyvolané průtokem vzduchu, který prošel přístrojem.

Pro DEFEND 1050 s průtokem 900 m³/h nastane snížení koncentrace mikroorganismů a částic 100x za dobu regenerace prostoru, kterou vyvolá cirkulací očištěného vzduchu.

Pozn.4 zařízení má přepínatelný výkon, který lze snížit až na 180 m³/h, čímž se ale významně sníží účinnost čištění místnosti. Doba regenerace se tím prodlouží a účinnost dekontaminace se tím sníží.

V TAB.3 je vidět výsledek použití cirkulačního filtru v OPS s vypnutou vzduchotechnikou. Je zřejmé, že pro průběžnou dekontaminaci v tomto případě není dostatečně účinný. Dostatečný výkon má pro prostor s objemem max. 90 m³.

TAB. 3 Pokles kontaminace prostoru OPS při vypnuté vzduchotechnice vyvolaný DEFEND 1050 pracujícím na plný výkon 900 m³/h.

sál	objem sálu [m ³]	výměna vzduchu [1/h]	pokles kontaminace 100x = doba regenerace [min]	pokles kontaminace 1000x = 1,5x doba regenerace [min]
A,	152	5,9	45	68
B	152	5,9	45	68
C	120	7,5	53	80

Zapnutí DEFEND 1050 v prostoru, za chodu jeho vzduchotechniky, přístroj zvýší svým průtokem 900 m³/h výměnu v prostoru a tím přiměřeně zkrátí dobu dekontaminace.

Zařízení DEFEND 1050 s průtokem 900 m³/h bylo v USA testováno v prostoru s objemem 16 m³, kde vyvolalo výměnu vzduchu 900/16= 56,3 h⁻¹. Z toho výpočtem plyne teoretická doba regenerace cca **7 minut** a pro pokles koncentrace mikroorganismů **1000x**, t.j. o **99,9%**, vychází doba cca **10 minut**. Tento údaj odpovídá grafu a údajům uvedeným v prospektu dodavatele (dekontaminace 99,9% za 10-20 minut).

Pozn.5 Při umístění zařízení v místnosti s větším objemem pak samozřejmě pro dosažení stejné účinnosti je nutná doba působení přiměřeně delší - pro použití v OPS objemu 120 a 152 m³ je účinnost zřejmá z TAB.3.

Pozn.6 S plasmou, ale bez HEPA filtru se dodávají zařízení NOVAERUS Protect 800 s průtokem 230 m³/h a NOVAERUS Protect 200 s průtokem 85 m³/h, které lze s dostatečnou účinností použít jen do prostorů s objemem do 25 a do 9 m³.

Pozn.7 Zařízení DEFEND 1050 obsahuje filtry, v nichž se zachycuje část kontaminace vstupující do přístroje, a proto je nutno ho občas měnit a dodržovat při tom pravidla pro zacházení s nebezpečnými infekčními odpady.

7. Dekontaminace prostorová cirkulačním filtrem

Pokud se do nějakého prostoru umístí cirkulační zařízení s HEPA filtrem, vyvolá proudění vzduchu, z něhož lze určit výměnu vzduchu (průtok/objem místnosti) a následně i **dobu regenerace**, tj. dobu, za niž koncentrace v prostoru klesne **100x**.

Pro pokles **1000x**, tj. o **99,9%**, je nutný čas **1,5 doby regenerace**.

Uvedené časy samozřejmě platí pro správné umístění zařízení v prostoru tak, aby větrání bylo bez „zkratů“ a „mrtvých zón“. Doba regenerace (recovery time) závisí exponenciálně na výměně vzduchu v místnosti, tj. na podílu průtoku vzduchu a objemu místnosti.

Komerčně se obvykle cirkulační filtry nazývají „Čističky vzduchu s HEPA filtrem“.

U všech uvedených zařízení použitých v prostředí s nebezpečnými patogeny je třeba při výměně filtrů postupovat jako při práci s nebezpečným odpadem



Guzzanti GZ995 uvádím jako příklad levné „Čističky vzduchu s HEPA filtrem“ [8]

Průtok 320 m³/hod, hlučnost 35 dB. HEPA filtr s třídou filtrace PM 2.5 – odstraňuje částice o velikosti 2,5 mikronu s účinností 99,9 % což ale neodpovídá HEPA filtru podle EN 1822-1 [9]

Dodavatelem je doporučen pro místnost o velikosti max. 38 m². Pro takovou místnost s výškou 2,7 m tj. cca 100 m³, je však zřejmé, že v místnosti s tímto objemem vyvolá výměnu vzduchu jen 3.2x a pak pokles kontaminace o 99% nastane za 125 minut.

Pro přiměřenou účinnost, např. v JIP bez vzduchotechniky, by proto zařízení vyhovělo pro místnost s objemem **max. 30 m³**. Pak by výměna vzduchu byla 10,7 1/h a dekontaminační čas= doba regenerace pro pokles kontaminace **100x** činila při optimálním umístění **37 minut**.

Problémem je však, v případě záchytu nebezpečných patogenů, manipulace s filtrem - nejde o zařízení určené k profesionálnímu použití.

8. Průběžná dekontaminace prostoru za přítomnosti zdroje kontaminace.

Za přítomnosti osob lze provádět jen větrání vzduchem filtrovaným HEPA filtry (lze i zapnutím libovolného cirkulačního filtru nebo zařízení DEFEND, které působí shodně jako cirkulační filtr). Účinnost snížení kontaminace větráním závisí na výměně vzduchu a intenzitě zdroje kontaminace a lze je též orientačně stanovit.

Pro dostatečnou účinnost snížení kontaminace v místnosti větráním je třeba v ní dosáhnout **minimálně** výměnu 6 h^{-1} (minimální doporučená hodnota [3]). Při nižší výměně vzduchu nebo nevhodném umístění výústek nebo cirkulačního filtru je snížení kontaminace málo významné.

Proto je třeba vždy volit dostatečný průtok použitým zařízením podle objemu větrané místnosti a správně je z hlediska provětrání místnosti umístit (platí i pro návrh vzduchotechniky sálu i pro případné umístění doplňkového cirkulačního filtru).

9. Organizační opatření pro omezení přenosu kontaminace.

Při ošetřování infekčního pacienta je nutné i přes „správné“ řešení prostorů npř. podle OBR.2 a 3 a „správné“ provozování a údržbu vzduchotechniky dodržet organizační opatření, která zamezí šíření infekce mimo vyhrazené prostory.

Příklad hygienických opatření na operačních sálech může být:

- používání ochranných pomůcek pro operační tým i pracovníky úklidu
- při vlastní operaci na sále provozovat vzduchotechniku na plný chod
- udržovat zavřené dveře mezi sálem a předsálím (přípravnou atd). Otevírat je jen výjimečně
- po skončení operace vyvézt infekčního pacienta do předsálí, vyčkat na dekontaminaci vzduchem po dobu min 1/2 doby regenerace v tomto prostoru
- celý operační tým vyčkat na sále po dobu min 1/2 doby dekontaminace dané výměnou vzduchu v OPS
- provést dekontaminace povrchů sálu včetně stěn desinfekčním roztokem npř. 1,5 % Microbac forte. Personál v ochranných pomůckách
- vypnout vzduchotechniku a provést prostorovou chemickou dekontaminaci zařízením DioProtektion roztokem Diosol 8 %, doba podávání podle objemu OPS a expozice (cca 1-1,5 hod.)
- zapnout vzduchotechniku pro odvětrání (trvání cca 1,25 doby regenerace sálu pro pokles 330x)

ZÁVĚRY:

1. V aseptických OPS A JIP je pro ošetřování infekčního pacienta nutno přijmout dostatečná technická a organizační opatření.
2. Dodržovat technické požadavky na výměnu vzduchu, přetlaky a uspořádání aseptických a infekčních prostorů podle CDC a DIN 1946-4.
3. Zajistit v prostorech dostatečnou prostorovou a povrchovou dekontaminaci.
4. Pro časy pro odvětrání i dekontaminaci sálů čistým vzduchem vycházet z výše uvedených údajů o časech regenerace.
5. Vzduchotechniku OPS a JIP správně provozovat, udržovat a provádět na nich kontrolní měření a validace prostorů.
6. Pro zkrácení časů dekontaminace lze v místnostech mimo stávající vzduchotechniku případně použít i vložených cirkulačních filtrů s dostatečným průtokem vzduchu.
7. V místnostech bez vzduchotechniky lze užít k dekontaminaci vhodné cirkulační filtry. Nouzově lze dočasně kontaminaci u nekritických pacientů snížit periodickým větráním okny.
6. Zvážit v nemocnici úpravu alespoň jednoho OPS na izolační „infekční“ OPS změnou přetlaků v navazujících místnostech

Literatura:

- [1] DIN 1946-4 Raumluftechnik Teil 4: Raumluftechnische Anlagen in Krankenhausern, 1999
- [2] ČSN EN ISO 14644-3 Čisté prostory a příslušné řízené prostředí - Část 3: Zkušební metody, 2006
- [3] Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities, Background C. Air, CDC USA (2003)
- [4] <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/environmental/background/air>.
- [5] Aerosolová desinfekce vzduchu a povrchů DioProtection, prospekt HARTMAN-RICO a.s.
- [6] Přenosné desinfekční jednotky Novaerus, prospekt novaerus c.z.
- [7] www.nasa.gov/fioa, Informace o zkouškách zařízení pro novaerus
- [8] <https://www.guzzanti.cz/cisticky-vzduchu/1024-cisticka-vzduchu-guzzanti-gz-995> , Guzzanti GZ995, technická informace
- [9] High efficiency particulate air filter (HEPA and ULPA) - Part 1 Classification, performance testing, marking