DOI: 10.65545/COW.2026.11.01



Ocena środowiska cieplnego w mikrośrodowisku stołu operacyjnego w salach z wentylacją mieszającą i jednokierunkową

Assessment of the thermal environment in the operating-table microenvironment in rooms with mixing and unidirectional airflow ventilation



Dr hab. inż. Anna Bogdan, prof. PW

ORCID ID: 0000-0003-1502-6548
Wydział Inżynierii Środowiska
Politechnika Warszawska



Mgr inż. Dominika Kwiecińska

ORCID ID: 0009-0001-3323-6998
Wydział Inżynierii Środowiska
Politechnika Warszawska
dominika.kwiecinska@pw.edu.pl



Mgr inż. Marcin Michalski

ORCID ID: 0009-0004-6522-2138
Wydział Inżynierii Środowiska
Politechnika Warszawska

Słowa kluczowe: sala operacyjna, środowisko cieplne, komfort cieplny, PMV, wentylacja jednokierunkowa, wentylacja mieszająca

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów parametrów środowiska cieplnego w mikrośrodowisku operacyjnym. Temperaturę, wilgotność względną i prędkość powietrza oraz temperaturę poczernionej kuli mierzono w trzech punktach stołu operacyjnego: na wysokości głowy, brzucha i stóp pacjenta. Na podstawie ostatnich 30 minut rejestracji obliczono średnią temperaturę promieniowania, temperaturę operacyjną oraz wskaźniki PMV i PPD wg PN-EN ISO 7730 osobno dla pacjenta i dla personelu operacyjnego. Średnia temperatura powietrza wynosiła 22,3°C (MV) i 22,2°C (LAF), a różnice między systemami nie były istotne statystycznie ($p > 0,4$). Rodzaj wentylacji różnicował natomiast prędkość powietrza i ryzyko przeciągu. Dla pacjenta uzyskano PMV = −1,80 w obu grupach (PPD ≈ 64%), dla personelu PMV = +0,69 (PPD ≈ 16%). Wyniki wskazują, że o warunkach cieplnych w mikrośrodowisku operacyjnym decyduje zadana temperatura powietrza, a nie rodzaj systemu wentylacji, oraz że przy obecnych nastawach żadna z grup użytkowników nie ma zapewnionego komfortu cieplnego.

Keywords: operating room, thermal environment, thermal comfort, PMV, laminar airflow, mixing ventilation

Abstract

The paper presents measurements of the thermal environment in the operating microenvironment. Air temperature, relative humidity, air velocity and black-globe temperature were measured at three points of the operating table, at the patient's head, abdomen and feet. Using the last 30 minutes of each record, mean radiant temperature, operative temperature and the PMV and PPD indices according to EN ISO 7730 were calculated separately for the patient and for the surgical staff.

Mean air temperature was 22.3°C (MV) and 22.2°C (LAF), and the difference between systems was not statistically significant ($p > 0.4$). The ventilation type did, however, affect air velocity and draught risk. The patient's PMV was −1.80 in both groups (PPD ≈ 64%), the staff's PMV +0.69 (PPD ≈ 16%). The results show that the thermal conditions in the operating mikroenvironmet are governed by the air temperature set point rather than by the ventilation system, and that under current settings neither user group is thermally comfortable.

Wstęp

Sala operacyjna jest jednym z najbardziej wymagających pomieszczeń pod względem kształtowania środowiska wewnętrznego. Stosowany tam system wentylacji musi jednocześnie chronić ranę operacyjną przed zanieczyszczeniami, usuwać ciepło od urządzeń i użytkowników oraz zapewniać warunki cieplne odpowiednie dla dwóch grup użytkowników o skrajnie różnych potrzebach. Pacjent w znieczuleniu ogólnym leży nieruchomo, jest na czczo, częściowo odkryty, a jego termoregulacja jest upośledzona. Zespół operacyjny pracuje w pozycji stojącej, w odzieży barierowej, przy podwyższonym wydatku energetycznym i często pod obciążeniem promieniowaniem lamp operacyjnych.

Celem niniejszej pracy była ocena środowiska cieplnego w mikrośrodowisku stołu operacyjnego oraz odpowiedź na pytanie, czy rodzaj systemu wentylacji wpływa na te warunki. Przyjęto hipotezę, że nawiew jednokierunkowy, kierowany bezpośrednio na pole operacyjne, zmienia warunki wymiany ciepła pacjenta w porównaniu z wentylacją

mieszającą. Zakres pracy obejmował pomiar parametrów środowiska cieplnego (temperatury, wilgotności i prędkości powietrza oraz temperatury poczernionej kuli) w trzech punktach stołu operacyjnego, na wysokości głowy, brzucha i stóp pacjenta, porównanie tych parametrów w salach z różnymi systemami wentylacji oraz przybliżoną ocenę komfortu cieplnego pacjenta i personelu operacyjnego za pomocą wskaźników PMV i PPD.

Mikrośrodowisko chirurgiczne

Podstawowym zadaniem wentylacji sali operacyjnej jest ograniczenie liczby cząstek i mikroorganizmów w strefie pola operacyjnego. Znaczenie czystości powietrza wykazano już w randomizowanych badaniach wieloośrodkowych, w których stosowanie powietrza ultraczystego wiązało się z mniejszą liczbą głębokich zakażeń po alloplastyce stawu biodrowego i kolanowego (Lidwell i in., 1982). Wymagania dotyczące pomieszczeń i parametrów powietrza w salach operacyjnych w Polsce określa rozporządzenie Ministra Zdrowia (Minister Zdrowia, 2019), a przy projektowaniu instalacji korzysta się m.in. z "Wytycznych projektowania, wykonania, odbioru i eksploatacji systemów wentylacji i klimatyzacji dla podmiotów wykonujących działalność leczniczą" (Charkowska i in., 2018).

W salach operacyjnych stosuje się przede wszystkim dwa rozwiązania rozdziału powietrza. W wentylacji mieszającej (MV) powietrze nawiewane jest z dużą indukcją przez nawiewniki rozmieszczone w stropie lub na ścianach, a stężenie zanieczyszczeń obniża się przez ich rozcieńczenie w całej objętości sali. W wentylacji z nawiewem jednokierunkowym (w niniejszym artykule określane jako LAF) powietrze doprowadzane jest ze stropu nawiewnego umieszczonego bezpośrednio nad stołem operacyjnym, z małą prędkością i niską turbulencją, tak aby wypierać zanieczyszczenia z pola operacyjnego. Oba systemy różnią się więc rozkładem prędkości i temperatury powietrza dokładnie w tej strefie, w której przebywa pacjent i operujący zespół.

Znieczulenie ogólne obniża wytwarzanie ciepła metabolicznego i hamuje reakcje termoregulacyjne, takie jak skurcz naczyń skórnych i drżenie mięśniowe. W pierwszej fazie znieczulenia ciepło przemieszcza się z wnętrza ciała do tkanek obwodowych, a następnie temperatura głęboka spada wskutek przewagi strat ciepła nad jego wytwarzaniem (Sessler, 2016). Straty te zachodzą głównie przez promieniowanie i konwekcję, zależą więc bezpośrednio od temperatury powietrza i przegród oraz od prędkości przepływu powietrza wokół pacjenta.

Niezamierzona hipotermia śródoperacyjna, definiowana jako spadek temperatury głębokiej ciała poniżej 36°C, ma udokumentowane skutki kliniczne. W badaniu z randomizacją utrzymanie normotermii zmniejszyło częstość zakażeń rany po operacjach jelita grubego i skróciło hospitalizację (Kurz i in., 1996). Wytyczne kliniczne zalecają aktywne ogrzewanie pacjentów oraz utrzymywanie temperatury otoczenia co najmniej 21°C w czasie, gdy pacjent jest odkryty (NICE, 2016). Ograniczanie strat ciepła od pacjenta jest więc zadaniem nie tylko anestezjologa, ale także projektanta i eksploatatora instalacji wentylacyjnej.

Z drugiej strony w salach operacyjnych pracuje zespół medyczny, który, jak wynika z wielu badań, odczuwa dyskomfort cieplny w kierunku „zbyt ciepło" (Ćwiklińska i in., 2022; Uscinowicz i in., 2015; Van Gaever i in., 2014). Pod względem wymagań cieplnych personel nie jest jednorodny: najcięższą pracę fizyczną wykonują chirurdzy, a najlżejszą anestezjolodzy, którzy oczekują też najwyższej temperatury otoczenia. Odzież chirurgiczna, zależnie od rodzaju zabiegu, ma izolacyjność od 1 do 1,5 clo i ogranicza odprowadzanie wilgoci od ciała (Bogdan i in., 2011; Zwolińska i Bogdan, 2012). Na odczucie dyskomfortu składa się zatem tempo metabolizmu związane z pracą w pozycji stojącej, wielowarstwowa odzież barierowa o ograniczonej przepuszczalności pary wodnej, promieniowanie lamp oraz stres często związany z zabiegiem. Przegląd literatury wskazuje, że obciążenie cieplne może pogarszać koncentrację i sprawność poznawczą zespołu operacyjnego (Byrne i in., 2020). W wyniku chęci zapewnienia odpowiednich warunków personelowi w praktyce obniża się temperaturę kosztem bilansu cieplnego pacjenta.

Jednocześnie, badania terenowe wielokrotnie wykazywały, że parametry środowiska w salach operacyjnych odbiegają od zaleceń (Balaras i in., 2007). W dziesięcioletniej ocenie 18 sal operacyjnych w 98,8% pomiarów przynajmniej jeden parametr nie spełniał wymagań, najczęściej prędkość powietrza – obliczone wskaźniki PMV-PPD wskazały dyskomfort cieplny u 98,3% pacjentów, głównie z powodu chłodu, i tylko u 3,6% członków zespołu (Deiana i in., 2022). Ocenę warunków w salach operacyjnych modelem PMV–PPD przeprowadzili także Khalil i in. (2020). Angelova i Velichkova (2020), łącząc wskaźniki PMV–PPD i PHS, wykazali, że te same warunki mogą jednocześnie powodować obciążenie cieplne chirurgów i niedogrzanie pacjenta.

W Polsce warunki cieplne zbadano w 37 salach operacyjnych 7 szpitali warszawskich latem 2014 r. (Uscinowicz i in., 2015). Wykazano, że w wielu przypadkach temperatura powietrza była zbyt niska w 17 z 37 sal, a lokalnie zbyt dużą prędkość powietrza stwierdzono w 18 salach. Przy lekkiej odzieży chirurgicznej (1 clo) warunki były akceptowalne dla anestezjologów w ok. 90% sal, dla pielęgniarek i asystentów w ok. 30%, a dla chirurgów jedynie w ok. 5% sal. Autorzy wskazali, że spełnienie oczekiwań poszczególnych grup wymaga miejscowych systemów ogrzewania i chłodzenia.

Większość dotychczasowych prac opisuje jednak warunki w całej sali lub w strefie przebywania personelu, zwykle na wysokości ok. 1,2 m nad podłogą, a parametry przy pacjencie są szacowane lub modelowane. Brakuje pomiarów prowadzonych bezpośrednio na stole operacyjnym, w kilku punktach wzdłuż ciała pacjenta oraz porównania sal z wentylacją mieszającą i jednokierunkową wykonanego jednolitą metodyką w wielu szpitalach.

Materiały i metody

Badania przeprowadzono w czynnych salach operacyjnych szpitali w Polsce. Program pomiarów objął 24 sale w 10 szpitalach (14 z wentylacją LAF i 10 z wentylacją MV). Sale wykorzystywane były głównie do zabiegów z zakresu chirurgii ogólnej, ginekologii, proktologii i ortopedii.

W badaniach mierzono temperaturę powietrza t_a, temperaturę poczernionej kuli t_g, wilgotność względną *RH* oraz średnią prędkość powietrza v_a wraz z jej odchyleniem standardowym, z którego wyznaczono intensywność turbulencji *Tu*. Aparatura spełniała wymagania

PN-EN ISO 7726:2004. Pomiary prowadzono w trzech punktach na stole operacyjnym, odpowiadających położeniu głowy, brzucha i stóp pacjenta, z krokiem rejestracji 10 s. Do analizy przyjęto ostatnie 30 minut każdego zapisu (180 odczytów w każdym punkcie), odpowiadające warunkom ustalonym.

Średnią temperaturę promieniowania tr obliczono na podstawie zmierzonych wartości t_g, t_a i v_a, z równania dla konwekcji wymuszonej podanego w normie PN-EN ISO 7726:2004. Temperaturę operacyjną to wyznaczono jako średnią z t_a i t_r ważoną współczynnikami przejmowania ciepła, a ryzyko przeciągu *DR* obliczono wg PN-EN ISO 7730:2006.

Wskaźniki PMV i PPD obliczono wg PN-EN ISO 7730:2006 osobno dla każdej sali i każdego punktu pomiarowego, przyjmując zmierzone wartości t_a, t_r, v_a i *RH*. Obliczenia wymagały przyjęcia tempa metabolizmu *M* i izolacyjności cieplnej odzieży I_{cl}, oddzielnie dla pacjenta i dla personelu. Dla pacjenta przyjęto *M* = 0,8 met (46,5 W/m^2). Jest to najniższa wartość, dla której PN-EN ISO 7730:2006 dopuszcza stosowanie modelu PMV, odpowiadająca osobie leżącej w spoczynku. Znieczulenie ogólne dodatkowo obniża wytwarzanie ciepła metabolicznego i hamuje termoregulację (Sessler, 2016), czego model PMV nie pozwala uwzględnić. Takie samo tempo metabolizmu pacjenta przyjęli Deiana i in. (2022) w dziesięcioletniej ocenie komfortu cieplnego w 18 salach operacyjnych, a Angelova i Velichkova (2020) przyjęli zbliżoną wartość 40 W/m^2, odpowiadającą fazie snu.

Izolacyjność cieplną dla pacjenta przyjęto I_{cl} = 0,9 clo, uwzględniając obłożenia chirurgiczne oraz izolację materaca stołu operacyjnego, przy czym w innych badaniach przyjmowano wartości niższe: 0,31 clo (Deiana i in., 2022) oraz 0,15 clo dla samego obłożenia chirurgicznego (Angelova i Velichkova, 2020). Przyjęte założenie jest więc ostrożne – przy mniejszej izolacyjności PMV pacjenta byłby jeszcze niższy.

Dla personelu operacyjnego przyjęto *M* = 1,8 met (105 W/m^2). Według PN-EN ISO 7730:2006 tempo metabolizmu osoby stojącej wynosi 1,6 met przy lekkiej pracy i 2,0 met przy pracy o umiarkowanym wysiłku. W literaturze przyjmuje się dla zespołu operacyjnego wartości od 1,6 met (Deiana i in., 2022) do 145 W/m^2, tj. około 2,5 met dla chirurgów (Angelova i Velichkova, 2020). W badaniach polskich sal operacyjnych przyjęto 70 W/m^2 dla anestezjologów, 100 W/m^2 dla pielęgniarek i asystentów oraz 120 W/m^2 dla chirurgów (Uscinowicz i in., 2015); przyjęta tu wartość 105 W/m^2 odpowiada więc członkom zespołu pracującym bezpośrednio przy stole.

Izolacyjność odzieży personelu, obejmującej odzież operacyjną, fartuch barierowy, czepek i maskę, przyjęto I_{cl} = 0,9 clo. Wartość ta odpowiada dolnej granicy izolacyjności zestawów odzieży chirurgicznej, która wynosi od ok. 1 clo dla bielizny chirurgicznej z fartuchem standardowym do 1,5 clo dla fartucha o podwyższonych właściwościach barierowych noszonego z fartuchem ołowianym (Angelova i Velichkova, 2020; Bogdan i in., 2011; Uscinowicz i in., 2015).

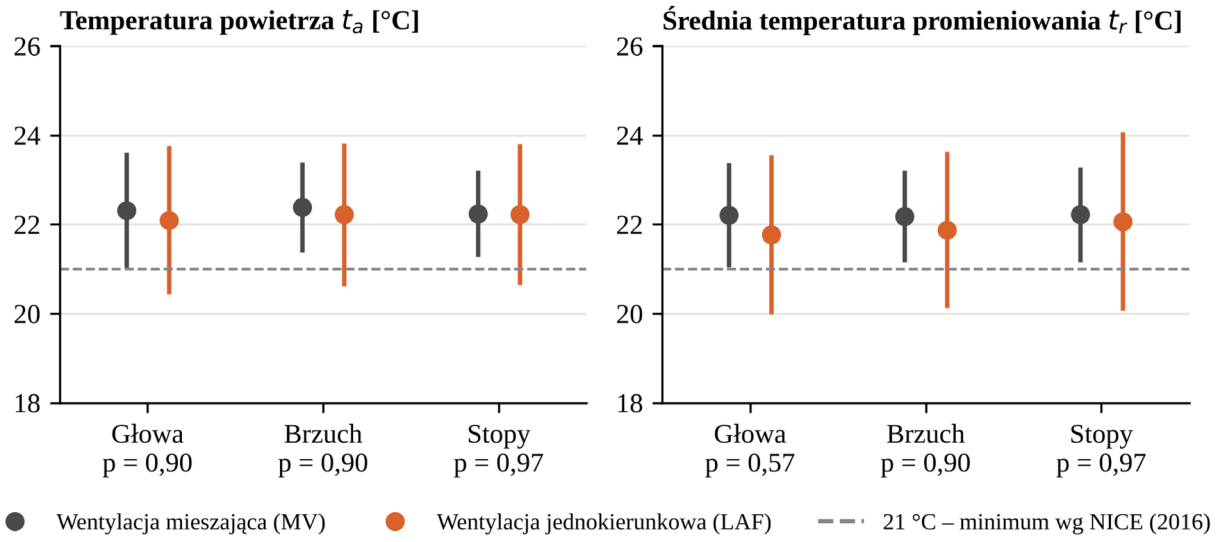
Model PMV opracowano dla osób zdrowych z czynną termoregulacją, dlatego wartości obliczone dla pacjenta w znieczuleniu traktowano jako wskaźnik porównawczy bilansu cieplnego, a nie jako przewidywaną ocenę subiektywną. W obliczeniach dla personelu przyjęto zmierzoną prędkość powietrza, bez poprawki na ruch ciała.

Dla każdej sali obliczono wartości średnie w każdym punkcie oraz średnią z trzech punktów. Różnice między grupami MV i LAF oceniono testem U Manna–Whitneya na średnich wartościach dla sal (n = 14 i n = 10). Różnice między punktami pomiarowymi oceniono testem Friedmana. Przyjęto poziom istotności α = 0,05.

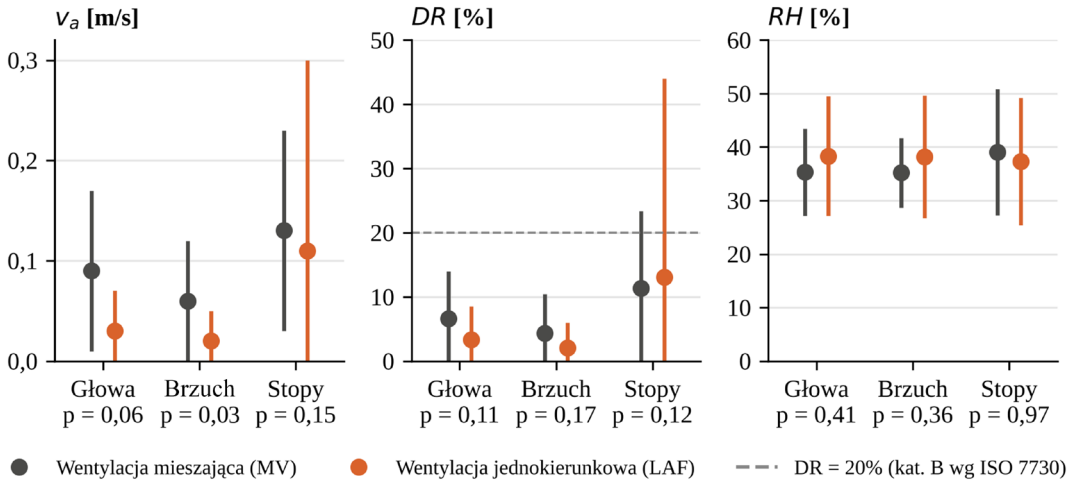
Wyniki

Parametry środowiska cieplnego

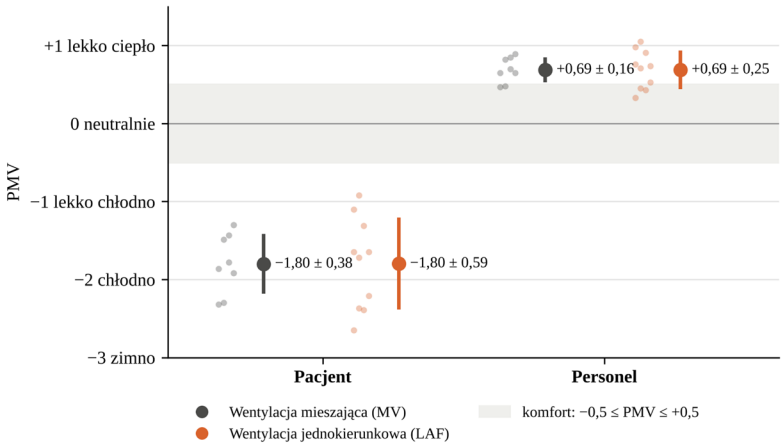
Temperatura powietrza i średnia temperatura promieniowania w polu operacyjnym nie zależała od rodzaju wentylacji (Rysunek 1). Średnia temperatura powietrza wynosiła 22,3°C w salach MV i 22,2°C w salach LAF, a różnice nie były istotne statystycznie w żadnym punkcie. Znacznie większy był rozrzut między salami tego samego typu: od 20,4 do 23,4°C w salach MV i od 19,8 do 24,6°C w salach LAF. W czterech salach średnia temperatura powietrza była niższa niż 21°C.



Rysunek 1. Temperatura powietrza i średnia temperatura promieniowania w punktach pomiarowych stołu operacyjnego w salach z wentylacją mieszającą (MV) i jednokierunkową (LAF). Źródło: opracowanie własne
Figure 1. Air temperature and mean radiant temperature at the measuring points of the operating table in rooms with mixing (MV) and unidirectional (LAF) ventilation. Source: author's own study



Rysunek 2. Prędkość powietrza, ryzyko przeciągu i wilgotność względna w punktach pomiarowych stołu operacyjnego w salach z wentylacją MV i LAF. Źródło: opracowanie własne
Figure 2. Air velocity, draught rate and relative humidity at the measuring points of the operating table in MV and LAF rooms. Source: author's own study



Rysunek 3. Wskaźnik PMV pacjenta i personelu operacyjnego w salach z wentylacją MV i LAF (średnia ± odchylenie standardowe; punkty – poszczególne sale). Źródło: opracowanie własne
Figure 3. PMV index of the patient and the surgical staff in rooms with MV and LAF ventilation (mean ± standard deviation; dots – individual rooms). Source: author's own study

Temperatura promieniowania była zbliżona do temperatury powietrza, średnio niższa o 0,1 K w salach MV i o 0,3 K w salach LAF. Nie stwierdzono systematycznych różnic temperatury między punktami głowy, brzucha i stóp (test Friedmana, p = 0,85). Różnica temperatury powietrza między najcieplejszym i najzimniejszym punktem stołu wynosiła średnio 0,9 K w salach MV i 0,5 K w salach LAF.

Rodzaj wentylacji różnicował natomiast prędkość powietrza (Rysunek 2). W salach MV była ona wyższa niż w salach LAF, istotnie w punkcie brzucha (p = 0,03). W 5 z 10 sal LAF średnia prędkość w polu operacyjnym nie przekraczała 0,01 m/s. Ryzyko przeciągu powyżej 20% wystąpiło w dwóch salach, jednej MV i jednej LAF; w tej drugiej przy stopach pacjenta prędkość wynosiła średnio 0,59 m/s, co tłumaczy duży rozrzut *DR* w tym punkcie. Wilgotność względna wynosiła od 20% do 53% i nie zależała od rodzaju wentylacji; w czterech salach była niższa niż 30%.

Wskaźniki komfortu cieplnego

PMV pacjenta wynosił średnio −1,80 zarówno w salach MV, jak i LAF (p = 1,00), co odpowiada odczuciu „chłodno" i PPD ≈ 64% (Rysunek 3). W żadnej sali PMV pacjenta nie mieścił się w przedziale ±0,5. PMV personelu wynosił średnio +0,69 w obu grupach (PPD ≈ 16%), a w 41 z 54 punktów pomiarowych przekraczał +0,5.

W każdej sali PMV pacjenta wynosiło poniżej warunków komfortu cieplnego, a PMV personelu na jego górnej granicy lub powyżej. Średnie wartości PMV dla obu systemów wentylacji były praktycznie identyczne, a większy rozrzut w grupie LAF wynikał z większego zróżnicowania temperatury powietrza w tych salach.

Dyskusja

Najważniejszym wynikiem badań był brak wpływu rodzaju wentylacji na nastawy temperatury powietrza w polu operacyjnym przez personel. Rozrzut wartości temperatur między salami tego samego typu (do 4,8 K w grupie LAF) był wielokrotnie większy niż różnica między średnimi dla obu systemów (0,1 K). Oznacza to, że warunki cieplne przy stole operacyjnym wynikają przede wszystkim z preferencji użytkowników, a nie z koncepcji rozdziału powietrza.

System wentylacji wpływał natomiast na prędkość powietrza. Wyższe prędkości w salach MV zwiększają konwekcyjne straty ciepła od odkrytych części ciała pacjenta. Bardzo niskie prędkości zarejestrowane w części sal LAF są zaskakujące, ponieważ wytyczne dla nawiewu jednokierunkowego wymagają średniej prędkości nawiewu 0,18–0,25 m/s na wysokości 1,2 m nad podłogą w rejonie stołu operacyjnego (Charkowska i in., 2018); mogło to wynikać z przesłonięcia strumienia przez lampy operacyjne.

Wyniki potwierdzają konflikt potrzeb cieplnych pacjenta i personelu. Przy przyjętych założeniach neutralna temperatura operacyjna dla pacjenta wynosi około 26,5°C, a dla personelu około 17,5°C (dla v_a = 0,05 m/s i *RH* = 40%). Żadna pojedyncza nastawa temperatury powietrza w sali nie może więc zapewnić komfortu obu grupom. Obecne nastawy, z temperaturą około 22°C, są kompromisem niekorzystnym dla obu stron: pacjent znajduje się w strefie „zbyt chłodno" (PMV ≈ −1,8), a personel w strefie „zbyt ciepło" (PMV ≈ +0,7).

Wyniki są zgodne z obserwacjami Deiana i in. (2022), którzy w dziesięcioletnich badaniach stwierdzili dyskomfort cieplny u niemal wszystkich pacjentów i jedynie u nielicznych członków zespołu operacyjnego. Potwierdzają też analizę Angelovej i Velichkovej (2020), według której te same warunki w sali mogą jednocześnie prowadzić do obciążenia cieplnego chirurgów i niedogrzania pacjenta. Wyniki dla personelu są również spójne z badaniami w polskich salach operacyjnych, w których warunki oceniono jako „ciepło" lub „lekko ciepło" dla chirurgów, pielęgniarek i asystentów, a jako komfortowe dla anestezjologów (Uscinowicz i in., 2015). Przyjęte w niniejszej pracy założenie I_{cl} = 0,9 clo jest ostrożne. Przy izolacyjności 1,0 clo, przyjętej w tamtej pracy dla lekkiej odzieży, średni PMV w badanych salach wynosiłby +0,78 dla M = 1,8 met, +1,01 dla chirurgów (120 W/m^2) i +0,05 dla anestezjologów (70 W/m^2). Przy 1,3 clo PMV przekraczałby +0,5 we wszystkich punktach pomiarowych dla wszystkich grup z wyjątkiem anestezjologów. Zróżnicowanie oczekiwań w samym zespole operacyjnym dodatkowo utrudnia dobór jednej temperatury powietrza w sali.

Dla pacjenta wynik oznacza konieczność stosowania aktywnego ogrzewania, np. mat grzewczych lub systemów ogrzewania wymuszonym ciepłym powietrzem, niezależnie od rodzaju wentylacji (Kurz i in., 1996; Sessler, 2016). Dla personelu korzystne mogą być rozwiązania miejscowe, np. odzież chłodząca lub lokalny nawiew powietrza na strefę głowy operatora. Obniżanie temperatury w całej sali poprawia odczucia personelu, ale bezpośrednio pogarsza bilans cieplny pacjenta.

Interpretując wyniki, należy uwzględnić ograniczenia badań. Metoda PMV nie została opracowana dla osób w znieczuleniu, u których termoregulacja jest wyłączona, a metabolizm obniżony zatem wartości PMV dla pacjenta należy traktować jako wskaźnik porównawczy strat ciepła.

Wnioski

Najważniejszym wynikiem praktycznym niniejszych badań jest potwierdzenie, w warunkach rzeczywistych i w wielu szpitalach, trwałego konfliktu potrzeb cieplnych pacjenta i zespołu operacyjnego. Przy obecnych nastawach pacjent znajduje się w strefie chłodu, a personel w strefie lekkiego ciepła. Żadna wartość temperatury powietrza w sali nie zapewni komfortu obu grupom jednocześnie.

Rodzaj systemu wentylacji (MV lub LAF) nie wpływa istotnie na temperaturę powietrza, średnią temperaturę promieniowania ani wilgotność względną w polu operacyjnym. Średnia temperatura powietrza wynosiła 22,3°C w salach MV i 22,2°C w salach LAF. Rodzaj wentylacji różnicuje prędkość powietrza przy stole operacyjnym; w salach MV jest ona wyższa, co zwiększa konwekcyjne straty ciepła pacjenta.

Pacjent znajduje się w warunkach chłodnych (PMV ≈ −1,8; PPD ≈ 64%) niezależnie od systemu wentylacji, a w żadnej sali jego PMV nie mieścił się w przedziale komfortu. Przy mniejszej, przyjmowanej w literaturze izolacyjności obłożeń obciążenie chłodem byłoby jeszcze większe.

Personel operacyjny odczuwa warunki jako lekko ciepłe (PMV ≈ +0,7; PPD ≈ 16%). Temperatury neutralne dla obu grup różnią się o około 9 K.

Podziękowania

Badania zostały sfinansowane w całości przez Narodowe Centrum Nauki w ramach projektu badawczego nr 2021/41/B/ST8/00700.

Bibliografia

Angelova, R. A., & Velichkova, R. (2020). Thermophysiological comfort of surgeons and patient in an operating room based on PMV-PPD and PHS indexes. *Applied Sciences*, 10(5), 1801. https://doi.org/10.3390/app10051801

Balaras, C. A., Dascalaki, E., & Gaglia, A. (2007). HVAC and indoor thermal conditions in hospital operating rooms. *Energy and Buildings*, 39(4), 454–470. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.09.004

Bogdan, A., Sudoł-Szopińska, I., & Szopiński, T. (2011). Assessment of textiles for use in operating theatres with respect to the thermal comfort of surgeons. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 19(2), 65–69.

Byrne, J., Ludington-Hoe, S. M., & Voss, J. G. (2020). Occupational heat stress, thermal comfort, and cognitive performance in the OR: An integrative review. *AORN Journal*, 111, 536–545. https://doi.org/10.1002/aorn.13009

Charkowska, A., Różycki, A., Lenarski, R., & Sobierajska, A. (2018). Wytyczne projektowania, wykonania, odbioru i eksploatacji systemów wentylacji i klimatyzacji dla podmiotów wykonujących działalność leczniczą. *Pracodawcy Rzeczypospolitej Polskiej.*

Ćwiklińska, D., Bogdan, A., & Szyłak-Szydłowski, M. (2022). Survey on factors influencing surgeons' sensation in Polish operating theatres. *Building and Environment*, 214, 108929. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108929

Deiana, G., Arghittu, A., Dettori, M., Deriu, M. G., Palmieri, A., Azara, A., Castiglia, P., & Masia, M. D. (2022). Ten-year evaluation of thermal comfort in operating rooms. *Healthcare*, 10(2), 307. https://doi.org/10.3390/healthcare10020307

Khalil, A., Mahgoub Bassuoni, M., Elsamadony, M., & Raslan, M. (2020). Assessment of thermal comfort in operating rooms using PMV-PPD model. *Journal of Engineering Research*, 4, 51–62. https://doi.org/10.21608/erjeng.2020.131508

Kurz, A., Sessler, D. I., & Lenhardt, R. (1996). Perioperative normothermia to reduce the incidence of surgical-wound infection and shorten hospitalization. *New England Journal of Medicine*, 334(19), 1209–1216. https://doi.org/10.1056/NEJM199605093341901

Lidwell, O. M., Lowbury, E. J. L., Whyte, W., Blowers, R., Stanley, S. J., & Lowe, D. (1982). Effect of ultraclean air in operating rooms on deep sepsis in the joint after total hip or knee replacement: A randomised study. *BMJ*, 285(6334), 10–14. https://doi.org/10.1136/bmj.285.6334.10

Minister Zdrowia. (2019). Rozporządzenie z dnia 26 marca 2019 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinny odpowiadać pomieszczenia i urządzenia podmiotu wykonującego działalność leczniczą (Dz.U. 2019 poz. 595).

NICE. (2016). Hypothermia: Prevention and management in adults having surgery (Clinical guideline CG65). *National Institute for Health and Care Excellence.* https://www.nice.org.uk/guidance/cg65

PKN. (2004). PN-EN ISO 7726:2004 *Ergonomia środowiska termicznego – Przyrządy do pomiaru wielkości fizycznych*. Polski Komitet Normalizacyjny.

PKN. (2006). PN-EN ISO 7730:2006-03 *Ergonomia środowiska termicznego – Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów lokalnego komfortu termicznego*. Polski Komitet Normalizacyjny.

Sessler, D. I. (2016). Perioperative thermoregulation and heat balance. *The Lancet*, 387(10038), 2655–2664. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)00981-2

Uscinowicz, P., Chludzińska, M., & Bogdan, A. (2015). Thermal environment conditions in Polish operating rooms. *Building and Environment*, 94, 296–304. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.08.003

Van Gaever, R., Jacobs, V. A., Diltoer, M., Peeters, L., & Vanlanduit, S. (2014). Thermal comfort of the surgical staff in the operating room. *Building and Environment*, 81, 37–41. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.05.036

Zwolińska, M., & Bogdan, A. (2012). Impact of the medical clothing on the thermal stress of surgeons. *Applied Ergonomics*, 43(6), 1096–1104. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.03.011

Zastrzeżenie: Oświadczenia, opinie i dane przedstawione w publikacjach są wyłączną odpowiedzialnością ich autorów i nie odzwierciedlają stanowiska redakcji *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja*. Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za jakiekolwiek szkody dotyczące osób lub mienia wynikające z idei, metod, zaleceń lub produktów omawianych w treści publikacji. *Artykuł udostępniony na licencji Creative Commons CC BY 4.0.*

Disclaimer: The statements, opinions, and data presented in the publications are the sole responsibility of their authors and do not necessarily reflect the views of the editorial board of *Ciepłownictwo Ogrzewnictwo Wentylacja.* The editorial board assumes no responsibility or liability for any injury to persons or damage to property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content of the publications. *The article is distributed under the Creative Commons CC BY 4.0 license.*