

Wpływ warunków środowiskowych i niezamierzonej hipotermii śródoperacyjnej na stan pacjenta

The influence of environmental conditions and inadvertent perioperative hypothermia on the patient's condition

ANNA CHARKOWSKA

DOI 10.36119/15.2021.3.4

Warunki środowiskowe (temperatura, wilgotność, prędkość przepływu powietrza, średnia temperatura promieniowania otoczenia) i czynniki indywidualne (aktywność fizyczna, izolacyjność cieplna odzieży) wpływają na wymianę ciepła pomiędzy człowiekiem a otoczeniem. W warunkach równowagi cieplnej pojawia się odczucie komfortu cieplnego, a układ termoregulacyjny organizmu działa prawidłowo. W warunkach, w których dochodzi do upośledzenia mechanizmu termoregulacji, człowiek może być w stanie hipotermii lub hipertermii, zamiast normotermii. Jedną z tych sytuacji (hipotermia) może wystąpić w sali operacyjnej. Znieczulenie, operacja oraz środowisko sali operacyjnej upośledzają fizjologiczne mechanizmy termoregulacyjne organizmu. Niezamierzona hipotermia śródoperacyjna, definiowana jako spadek temperatury wewnętrznej ciała poniżej 36°C, jest najczęstszym powikłaniem opieki okołoperacyjnej. W artykule zwrócono uwagę na zagadnienia związane z występowaniem wychłodzenia operowanego pacjenta, odnosząc się także do warunków środowiskowych w sali operacyjnej, utrzymywanych w wyniku działania systemu wentylacji i klimatyzacji sali operacyjnej.

Słowa kluczowe: sala operacyjna, szpital, wentylacja, klimatyzacja, parametry powietrza, personel medyczny, pacjenci, komfort, dyskomfort, hipotermia

Environmental conditions (temperature, humidity, air flow velocity, mean radiation temperature) and individual factors (physical activity, clothing insulation) affect the heat exchange between humans and the environment. In thermal balance conditions, a feeling of thermal comfort appears and the body's thermoregulatory system works properly. In conditions where the thermoregulation mechanism is impaired, a person may be hypothermic or hyperthermic instead of normothermic. One of these situations (hypothermia) can occur in the operating room. Anesthesia, surgery and the operating room environment impair the body's physiological thermoregulatory mechanisms. Inadvertent perioperative hypothermia, defined as a drop in core body temperature below 36°C, is the most common complication of perioperative care. The article focuses on the issues related to the occurrence of hypothermia of the operated patient, referring also to the indoor conditions in the operating room, maintained as a result of the operation of the ventilation and air conditioning system in the operating room.

Keywords: operating room, hospital, ventilation, air conditioning, air parameters, medical staff, patients, comfort, discomfort, hypothermia

Wstęp

Profesor P.O. Fanger w książce „Komfort cieplny” [13] za najbardziej odpowiedni mikroklimat dla człowieka uznał taki, w którym nie odczuwa on ani zimna, ani gorąca, czyli ma poczucie komfortu cieplnego. Człowiek odczuwa komfort cieplny przy temperaturze wewnętrznej ciała równej 37°C±0,3, średniej temperaturze powierzchni skóry 33°C i wtedy, gdy ilość ciepła traconego przez parowanie potu nie przekracza 20% maksymalnej zdolności utraty ciepła tą drogą.

Utrzymanie stałej temperatury wewnętrznej ciała (homeotermia), niezależnie od zmian temperatury otoczenia,

jest warunkiem koniecznym dla sprawnego działania organizmu stałocielnego, warunkuje prawidłowość procesów zachodzących wewnątrz niego [9]. Homeotermia polega na dostosowywaniu ilości ciepła, wytwarzanego w organizmie w wyniku przemian metabolicznych i ilości ciepła wymianianego pomiędzy organizmem a otoczeniem, do potrzeb bilansu cieplnego ustroju w zmiennych warunkach środowiskowych [13]. Utrzymanie stałej temperatury wewnętrznej jest możliwe dzięki mechanizmom termoregulacyjnym. W warunkach komfortu układ termoregulacji nie jest nadmiernie obciążony, czło-

wiek nie marznie ani nie poci się zbyt intensywnie [34]. Natomiast zbyt duży wzrost lub spadek temperatury wewnętrznej prowadzi do zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu człowieka.

W sytuacji zbyt szybkiego ochładzania organizmu w stosunku do jego zdolności wytwarzania ciepła pojawia się hipotermia. Hipotermia może wystąpić w środowisku zewnętrznym w wyniku narażenia na niską temperaturę otoczenia lub wody, jak również niską temperaturę powietrza w połączeniu z dużą siłą wiatru, u osoby ubranej w wilgotną odzież i przebywającej w otoczeniu o niskiej temperaturze, jak i wewnątrz budynku, np. u osób mieszkających

Dr inż. Anna Charkowska, <https://orcid.org/0000-0001-6060-9895> – Zakład Klimatyzacji i Ogrzewnictwa, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska. Adres do korespondencji / Corresponding author: anna.charkowska@pw.edu.pl

w słabo ogrzewanym domu zimą. W okresie jesienno-zimowym zagrożenie hipotermią dotyka osoby bezdomne zamieszkujące nieogrzewane domki np. na terenie ogródków działkowych, opustoszałe budynki mieszkalne, itp.

Zupełnie innym miejscem i sytuacją, w której może wystąpić stan wychłodzenia i hipotermia, jest blok operacyjny i operacja chirurgiczna. Sytuacja, w której występuje niezamierzone wychłodzenie śródoperacyjne, definiowane jako spadek ośrodkowej (wewnętrznej) temperatury ciała poniżej 36°C , jest najczęstszym powikłaniem opieki okołoperacyjnej. Hipotermia u pacjentów upośledza odporność, zaburza procesy krzepnięcia, zwiększa ryzyko uszkodzenia mięśnia sercowego oraz powikłań infekcyjnych [4].

W dokumencie [2] określono szacunkowo odsetek pacjentów z niezamierzonym wychłodzeniem śródoperacyjnym na ponad 50% pacjentów chirurgicznych w USA, w tym u pacjentów poddawanych krótkiej procedurze, trwającej 1,5 godziny lub krócej, a w publikacji [4] podano, że dotyczy ono 40–60% pacjentów poddawanych znieczuleniu do operacji. To właśnie w wyniku działania wielu środków anestetycznych używanych w znieczuleniu ogólnym dochodzi do upośledzenia mechanizmu termoregulacji. Poza znieczuleniem ogólnym (lub regionalnym), na wystąpienie i przebieg hipotermii okołoperacyjnej ma wpływ stan fizjologiczny pacjenta, strata ciepła z eksponowanej nieosłoniętej powierzchni ciała oraz pola operacyjnego, czas trwania zabiegu i warunki środowiskowe w sali operacyjnej [17], [51]. Również ilość nieogranych płynów infuzyjnych i preparatów krwi podawanych pacjentowi wpływa na obniżenie temperatury ciała, a także mycie zimnymi płynami antyseptycznymi oraz kontakt z zimnym stołem operacyjnym [9].

Zapobieganie wychłodzeniu to standardowy element nowoczesnej opieki okołoperacyjnej [4]. Stosuje się aktywne i bierne metody ogrzewania pacjenta: ogrzewanie płynów i preparatów krwiopochodnych, ogrzewanie powierzchni ciała za pomocą obiegu ciepłego powietrza, specjalne materace i koce grzewcze, okrywanie ciała.

Badania prowadzone nad niezamierzoną hipotermią śródoperacyjną pozwalają na określenie tempa i wielkości spadku temperatury głębokiej pacjenta strony środków medycznych i przebiegu od operacji. Od lat badany jest wpływ znieczulenia na proces termoregulacji [4].

Do czynników ryzyka wystąpienia niezamierzonej śródoperacyjnej hipotermii

zalicza się także wiek pacjentów, niedożywienie, niską temperaturę wewnętrzną przed indukcją ($<36,6^{\circ}\text{C}$), choroby towarzyszące (takie jak niedoczynność tarczycy i cukrzyca powikłana neuropatią czuciową), przyjmowanie leków przeciwpadaczkowych oraz niską temperaturę powietrza [4].

Z punktu widzenia projektanta systemu wentylacji i klimatyzacji sal operacyjnych ten ostatni aspekt jest niezwykle ciekawy i ważny. Na podstawie prowadzonych badań wiadomo, że przez lekarzy preferowana jest właśnie niska temperatura powietrza i jest to główna przesłanka przyjmowania niskiej temperatury powietrza nawiewanego oraz w strefie pracy. Zapewnienie komfortu pracy jest w tym przypadku priorytetem. Jednak, analizując publikacje dotyczące problemów zdrowotnych pacjentów wynikających z przebywania w stanie hipotermii podczas operacji, warto zastanowić się nad oceną skutków – spadku temperatury pacjenta i pogłębienia hipotermii - wynikających z niskiej temperatury powietrza.

Równowaga cieplna organizmu i termoregulacja

Temperatura wewnętrzna ciała (części wewnętrznej tzw. głębokiej, do której zalicza się: mózg, narządy klatki piersiowej i jamy brzusznej [9]), zwana także centralną, ośrodkową, głęboką, a ze względu na jedną z metod pomiaru rektalną, wynosi około 37°C – według [19], [22], [13] $37^{\circ}\text{C}\pm 0,3$, inni autorzy podają wartość $37^{\circ}\text{C}\pm 0,1$ [52]. Temperatura dystalnych części ciała (skóra, tkanka tłuszczowa, mięśnie) waha się w zakresie $28\text{--}35^{\circ}\text{C}$, zależnie od temperatury otoczenia. Temperatura ciała ulega w ciągu doby zmianom: jest niższa we wczesnych godzinach porannych, a najwyższa w godzinach przedpołudniowych oraz wieczornych [9].

W organizmie człowieka, jak również innych stałocieplnych, dzięki złożonym mechanizmom termoregulacji, temperatura wewnętrzna ciała będąc jednym z najbardziej istotnych parametrów życiowych, jest jednocześnie parametrem najlepiej regulowanym [19]. Jej utrzymanie w bardzo wąskim zakresie, mimo zmieniających się warunków zewnętrznych, jest możliwe dzięki sprawnej termoregulacji i konieczne dla prawidłowego funkcjonowania organizmu.

Umiejętność autoregulacji temperatury wewnętrznej jest uważana za bardzo istotny czynnik umożliwiający przeżycie w niesprzyjających warunkach klimatycznych. Uruchomienie termoregulacji jest zjawiskiem odruchowym bezwarunkowym [10]. Ośrodek termoregulacji zlokalizowany

w podwzgórzcu nadzoruje zarówno wytwarzanie ciepła w procesach metabolicznych, jak i jego rozpraszanie [24]. Są to zjawiska mające wpływ na bilans cieplny organizmu. W wyniku ich działania na bieżąco następuje dostosowanie ilości ciepła wytwarzanego przez organizm w procesach metabolicznych oraz ciepła wymienianego z otoczeniem do potrzeb cieplnych w zmiennych warunkach środowiska termicznego [19].

W środowisku chłodnym i zimnym, w warunkach niekorzystnego bilansu cieplnego, w celu ogrzania organizmu uruchamiane są mechanizmy fizyczne i chemiczne zwiększające produkcję ciepła: globalna reakcja naczynioskurczowa mikrokrążenia, polegająca na zmniejszeniu skórnego przepływu krwi, a w konsekwencji przewodnictwa cieplnego tkanek powierzchniowych [22], która dodatkowo ogranicza utratę ciepła, pobudzenie termogenezy (zwiększenie napięcia tonicznego mięśni szkieletowych z drżeniem lub dreszczami) oraz zmniejszenie produkcji potu [10]. Drżenia mięśniowe rozpoczynają się, gdy temperatura centralna obniży się o około 1°C poniżej progu dla zamknięcia anastomoz (połączeń między naczyniami krwionośnymi umożliwiającymi szybkie zwiększenie lub zmniejszenie przepływu krwi przez skórę przy regulacji jej temperatury). Pojawiają się one w sposób zsynchronizowany w 4-10 cyklach na minutę i obejmują wszystkie mięśnie ciała. W efekcie produkcja ciepła rośnie o 50-100%, a bilans cieplny zazwyczaj się poprawia. Drżenia mięśniowe uznawane są za ostatnią linię obrony organizmu przed wychłodzeniem [24].

Ze względu na oddziaływanie mechanizmów termoregulacyjnych organizmu i zasady wymiany ciepła z otoczeniem, wychłodzeniu najszybciej ulegają kończyny i tkanki leżące powierzchownie, narządy wewnętrzne (w tym serce) - dużo wolniej [41].

Klasyfikacja hipotermii

Podczas hipotermii następuje obniżenie temperatury wewnętrznej ciała poniżej normalnego, bezpiecznego poziomu, a strata ciepła przewyższa jego wytwarzanie.

W literaturze źródłowej można znaleźć różnorodne klasyfikacje hipotermii odniesione do temperatury wewnętrznej ciała. W [5] hipotermię podzielono na łagodną ($35\text{--}30^{\circ}\text{C}$), umiarkowaną ($30\text{--}24^{\circ}\text{C}$) i głęboką ($<24^{\circ}\text{C}$).

W przypadku hipotermii pourazowej, zgodnie z wytycznymi American College of Surgeons Committee in Trauma,

hipotermia łagodna występuje przy temperaturze $36\div 34^{\circ}\text{C}$, umiarkowana $34\div 32^{\circ}\text{C}$, ciężka $<32^{\circ}\text{C}$ [21].

W [41] podano jeszcze inne granice wystąpienia kolejnych stadiów cechujące się odmiennym obrazem klinicznym: hipotermia łagodna $32\div 35^{\circ}\text{C}$ (nasilone dreszcze, zachowana przytomność oraz nieznaczna tachykardia i przyspieszenie oddechu), umiarkowana $28\div 32^{\circ}\text{C}$ (znikanie dreszczy, postępujące zaburzenia świadomości, pojawienie się istotnych klinicznych zaburzeń krzepnięcia, spowolnienie oddechu i tętna), głęboka $<28^{\circ}\text{C}$ (ciężka bradykardia, wolny płytki oddech oraz utrata przytomności).

Hipotermia może wystąpić zarówno przy właściwie działających mechanizmach termoregulacyjnych (gdy warunki uniemożliwiają świadomą obronę przed zimnem), jak i z przyczyn wewnątrzustrojowych jako skutek niewydolności mechanizmów termoregulacyjnych [48]. W przypadku osób z upośledzonym mechanizmem termoregulacji (np. małe dzieci, osoby starsze) hipotermia może wystąpić nawet w niezbyt chłodnym otoczeniu [46].

Rozróżnia się następujące rodzaje hipotermii: przypadkową (pierwotną), wtórną (wraz z pourazową) i indukowaną (wraz z terapeutyczną). Podział wynika ze sposobu (lub celu) wywołania hipotermii i odpowiedzi metabolicznej organizmu.

Przyczyną hipotermii przypadkowej jest przebywanie w środowisku o niskiej i bardzo niskiej temperaturze wraz z niezamierzonym spadkiem temperatury głębokiej ciała poniżej 35°C w wyniku działania czynników środowiskowych, takich jak np. w środowisku zewnętrznym zimna woda, mroźna zamięć śnieżna, przy jednoczesnym braku odpowiedniej odzieży lub deszczowa i wietrzna pogoda [48] [24].

Hipotermia wtórna może być wywołana urazami (hipotermia pourazowa), incydentami naczyniowo-mózgowymi, a także schorzeniami powodującymi zaburzenia w zakresie termoregulacji (m.in. niewydolność nadnerczy, niedoczynność tarczycy, niedobór timiny) [21].

Kolejnym rodzajem hipotermii jest hipotermia indukowana. Może być spowodowana przez środki krążeniowe rozszerzające naczynia i obniżające ciśnienie krwi, leki przeciwgorączkowe i neuroleptyczne oraz narkotyki [48]. Może być też, jako hipotermia terapeutyczna, wywołana i prowadzona w sposób kontrolowany, np. po nagłym zatrzymaniu krążenia lub po urazach mózgu. Ten rodzaj hipotermii jest uznaną formą terapii [23].

W oddziałach intensywnej terapii hipotermia może występować w postaci niez-

mierzonej i indukowanej. Duża grupa leków stosowanych na oddziałach intensywnej terapii w istotny sposób zaburza funkcjonowanie obu mechanizmów obronnych (zarówno skurczu anastomoz, jak i drzeń mięśniowych), nasilając utratę ciepła i zmniejszając jego produkcję [23]. Na utratę ciepła ma też wpływ otwarcie dużych jam ciała (jama otrzewnowa, jama opłucnowa), a w konsekwencji strata ciepła w wyniku parowania z błon śluzowych, podawanie zimnych płynów infuzyjnych i krwi konserwowanej, zamoczenie materiału używanego do obłożenia pola operacyjnego, a także podczas znieczulenia ogólnego pewna ilość ciepła zostaje zatrzymana w układach oddechowych aparatów do znieczulenia, zwłaszcza w rurach i pochłaniaczach dwutlenku węgla [26] [23].

Niezamierzona hipotermia śródoperacyjna

Należałoby uznać, że chorzy przebywający w sali operacyjnej pod stałym nadzorem, okryci serwetami chirurgicznymi i aktywnie ogrzewani, w warunkach środowiskowych uznanych za komfortowe przez personel, znajdują się w bezpiecznym dla siebie środowisku cieplnym. Jednak, jak zauważono wcześniej, w takim miejscu zachodzi z wielu powodów do utraty ciepła i wychłodzenia organizmu pacjenta, a co za tym idzie – wystąpienia łagodnej hipotermii. Szacuje się, że zjawisko niezamierzonej hipotermii śródoperacyjnej w Stanach Zjednoczonych występuje u ponad 50% pacjentów chirurgicznych, którzy przeszli zabiegi trwające do 90 minut [2]. Według [15] ponad połowa pacjentów jest przyjmowana do oddziałów pooperacyjnych (do sal nadzoru poznieczuleniowego) z temperaturą ośrodkową niższą niż 36°C .

Niezwykle istotną rolę w utracie ciepła przez organizm i, w konsekwencji, spadku temperatury wewnętrznej ciała, ma znieczulenie ogólne, jego rodzaj i ilość zastosowanego środka. Podczas znieczulenia na skutek zmian zachodzących w fizjologicznych procesach termoregulacji u prawie wszystkich chorych obniża się temperatura wewnętrzna ciała [16].

Środki znieczulenia ogólnego wpływają bezpośrednio na zlokalizowany w podwzgórzcu mózgowym ośrodek termoregulacji, powodując poszerzenie zakresu temperatury, w jakim pojawiają się reakcje termoregulacyjne z $0,3\text{ K}$ do prawie 4 K [48]. Zamiast normalnej reakcji układu termoregulacyjnego na ochłodzenie, podczas znieczulenia ogólnego naturalne mechanizmy obronne uruchamiają się przy

niższej temperaturze ciała i działają mniej efektywnie. U pacjentów znieczulonych ogólnie jest jednocześnie zniesiony odruch behawioralny. W takiej sytuacji pacjent nie odczuwa zimna, nie zgłasza więc potrzeby dodatkowego okrycia [4].

Podczas pierwszych 30–60 minut znieczulenia w wyniku obwodowego rozszerzenia naczyń na skutek działania anestetyków dochodzi do obniżenia temperatury wewnętrznej o około 1 K . W ciągu kolejnych 2–3 godzin utrata ciepła przeważa nad jego produkcją, następuje spadek temperatury o $1\text{--}2\text{ K}$. Obniżenie temperatury zachodzi wolniej, aż do osiągnięcia wartości stałej w wyniku wystąpienia równowagi pomiędzy produkcją ciepła a jego utratą. Temperatura wewnętrzna wynosi wówczas około $34\text{--}35^{\circ}\text{C}$ [9]. Utrata ciepła podczas znieczulenia wynosi około 245 W , a produkcja 70 W [26].

Na podstawie analizy informacji dotyczących powikłań śródoperacyjnych w ciągu minionych kilkudziesięciu lat stwierdzono, że niezamierzona śródoperacyjna hipotermia ma negatywny wpływ na wiele procesów fizjologicznych, jak również na przebieg pooperacyjny [17]. Jest ona nie tylko czynnikiem zwiększającym ryzyko powikłań infekcyjnych (m.in. zakażenia miejsca operowanego), ale także wpływa na możliwe zaburzenia w kaskadzie krzepnięcia oraz częstość potencjalnie zagrażających życiu incydentów wieńcowych.

Dodatkowym, negatywnym skutkiem hipotermii pojawiającym się po operacji są dreszcze pooperacyjne (występujące głównie po znieczuleniu wziewnym [9]) mogące zwiększyć ból oraz zużycie tlenu przez komórki mięśni, spowodować wzrost ciśnienia śródocznego i śródmózgowego, wydłużyć czas gojenia ran pooperacyjnych, jak również spowolnić czynności metaboliczne, czego skutkiem będzie opóźnione działanie leków przeciwbólowych [2].

Środowisko ciepłe sal operacyjnych

Pomieszczenia w obiektach służby zdrowia muszą być środowiskiem bezpiecznym dla pacjentów i pracowników. Ze względu na drobnoustroje, znajdujące się w powietrzu i na powierzchniach przegród budowlanych, wyposażeniu i aparaturze oraz na ubraniach i skórze ludzi oraz inne zanieczyszczenia (gazowe, pyłowe), jak i na warunki ciepłno-wilgotnościowe, konieczna jest staranna analiza stanu środowiska oraz potrzeb i oczekiwań użytkowników tych obiektów. Szczególny wpływ na przebieg leczenia pacjentów mają warunki panujące

w pomieszczeniach czystych bloku operacyjnego, takich jak sale przygotowania pacjentów, sale operacyjne, sale nadzoru poznieczuleniowego, w których przebywają osłabieni chorzy, najbardziej narażeni na zakażenia wewnątrzszpitalne (wywołane przez drobnoustroje wnikające do ich organizmu przez rany operacyjne) oraz na inne problemy zdrowotne w przypadku niekomfortowych wartości temperatury i innych parametrów powietrza. Równie istotne jest zapewnienie odpowiednich warunków dla personelu medycznego. Jednocześnie, ze względu na zalecenia producentów aparatury medycznej związane z warunkami środowiskowymi ich użytkowania, definiowane są zakresy temperatury i wilgotności względnej powietrza wewnętrznego oraz dopuszczalne stężenia cząstek pyłu. Uwzględniając wymienione problemy, ważne jest właściwe, wielokierunkowe zdefiniowanie wymagań środowiskowych i ustalenie metod oraz środków do ich zapewnienia.

Komfort zespołu operacyjnego

Na sprawność psychofizyczną operatora i pozostałych członków zespołu operacyjnego, od której zależy jakość przeprowadzanego zabiegu, w sposób istotny oddziałuje komfort cieplny. Zatem, aby personel medyczny pracował jak najbardziej efektywnie, niezbędne jest zapewnienie mu odpowiednich warunków środowiskowych. W wielu badaniach naukowych wykazano, że istnieje zależność pomiędzy komfortem cieplnym, a poziomem produktywności i jakością pracy. Między innymi w badaniu przeprowadzonym w salach operacyjnych [3] zauważono, że komfort cieplny jako parametr jakości powietrza wpływa na warunki pracy, samopoczucie, bezpieczeństwo i zdrowie personelu medycznego pracującego w tych środowiskach.

Analizując warunki środowiskowe w sali operacyjnej, należy jednak zwrócić uwagę na niejednorodność oczekiwań środowiskowych (klimatycznych) osób należących do obsady sali operacyjnej. Optymalne parametry powietrza wewnętrznego są bowiem funkcją wykonywanych czynności przez poszczególnych członków zespołu. Każda z osób (lub grup osób o tych samych zadaniach) uczestniczących w operacji wykonuje inną pracę o innym wydatku metabolicznym i znajduje się w innym miejscu w sali operacyjnej [20].

Asystenci operatora i część pielęgniarek wykonują pracę lżejszą fizycznie niż chirurdzy. Nie zawsze niska temperatura powietrza wybrana przez chirurga będzie dla nich komfortowa. Z kolei anestezjolo-

dzy wykonują czynności, najczęściej w pozycji siedzącej, z mniejszym wysiłkiem fizycznym niż chirurdzy i pielęgniarki, potrzebują zatem wyższej temperatury powietrza wewnętrznego [20]. Takie same wnioski zamieszczono w [3], donosząc o odczuwaniu chłodu (od lekkiego chłodu do zimna) u anestezjologów i pielęgniarek, w porównaniu z odczuciem ciepła (od lekko ciepło do ciepło) u chirurgów, zwłaszcza gdy temperatura powietrza w salach operacyjnych wynosi poniżej 21°C. W publikacjach [3], [31] zauważano, że w przypadku konieczności stosowania przez zespół chirurgiczny cięższych fartuchów ochronnych (np. z powodu AIDS), mogą oni wymagać obniżenia temperatury wewnętrznego do 18°C lub nawet niższej.

Traktując jako priorytet konieczność zapewnienia chirurgom pełnego komfortu pracy, z uwzględnieniem komfortu cieplnego, domyślnie przyjmuje się, że nie będą dotrzymane warunki cieplne dla innych grup pracowników w sali operacyjnej.

W tabeli 1 zamieszczono wartości temperatury powietrza preferowane przez personel medyczny w sali operacyjnej, a w tabeli 2 zestawienie zalecanych parametrów powietrza w sali operacyjnej według wybranych źródeł (norm, wytycznych).

Zamieszczone w tabeli 2 wartości temperatury powietrza w salach operacyjnych

wskazują na ich szeroki zakres – od 18°C (Szwajcaria, Rosja, projekt normy europejskiej) do 26°C (Hiszpania, Niemcy, Szwecja, Włochy). Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, że mimo możliwości stosowania wysokich temperatur powietrza, preferowana przez lekarzy chirurgów jest temperatura niższa niż 23°C (nawet w [44] mocno podkreślono, że temperatura >23°C jest prawie nie do zniesienia).

Ponieważ na odczucia cieplne i komfort pracy, poza intensywnością wykonywanej pracy oraz warunkami środowiskowymi, wpływa izolacyjność noszonej odzieży, to analizując warunki komfortu cieplnego w sali operacyjnej, należy zwrócić uwagę również na ten problem. W oparciu o dane zawarte w publikacjach [49] [47] można w następujący sposób zalecić przyjmowanie wartości temperatury powietrza wewnętrznego zależnie od rodzaju i sposobu wykonania odzieży chirurgicznej (materiał, krój):

- 20÷24°C przy zestawie odzieży o izolacyjności cieplnej wynoszącej 0,54±0,1 clo, składającym się z obuwia, skarpet, bawełnianej bielizny, ubrania operacyjnego (bluza i spodnie) z tkaniny bawełnianej z dodatkiem hydrofilowych włókien wiskozowych, o dobrej przepuszczalności powietrza i pary wodnej,

Tabela 1. Temperatura powietrza w salach operacyjnych ze względu na komfort personelu medycznego
Table 1. Air temperature in operating theatres for the comfort of medical staff

Temperatura powietrza w sali operacyjnej, °C				Źródło
Lekarze chirurdzy	Pielęgniarki operacyjne – instrumentariuszki	Lekarze anestezjodolodzy	Pielęgniarki anestezyjne	
18÷19 max. do 22	wyższa niż dla chirurgów o 0,6K	wyższa niż dla chirurgów o 2,2K		[56] [20]
19		23÷24,5	23÷24,5	[36]
19,5	21÷22,5	21÷22,5	21÷22,5	[31]
18-19	23-24	23-24	23-24	[44]
18	19	22	19	CBZ: 2004 (Holandia) [8]

Tabela 2. Zestawienie zalecanych temperatury powietrza w sali operacyjnej według wybranych źródeł (norm, wytycznych, raportów)

Table 2. List of recommended air temperature in the operating theatre according to selected sources (standards, guidelines, reports)

Państwo	Temperatura powietrza wewnętrznego, °C	Źródło
Austria	20÷24	ÖNORM H 6020:2007 [37]
Hiszpania	22÷26	UNE 100713:2005 [53]
Niemcy	19÷26	DIN 1946-4:2018 [11]
Rosja	18÷24	GOST R 52539-2006 [14]
Stany Zjednoczone	sale operacyjne (także cytoskopowe): 20÷24	ASHRAE 170-2017 [1]
Szwajcaria	18÷24	SWKI-Guideline 99-3:2004E [50]
Szwecja	22±4	SIS-TS 39:2012 [45]
Wielka Brytania	20÷24	Guideline... UK 2009 Van Gaever, Jacobs i in. 2014 [54]
	19÷23	HTM 03-01-Part A: 2007 [18]
Polska	lato: 23 zima: 25 z możliwością regulacji w zakresie 22÷25	Kruczkowski 1984 [25] (wycofane „Wytyczne...”)
	19÷23	Wytyczne projektowania ... [7]
Europa	18÷24	Projekt normy europejskiej (praca w toku) EN 16244-2 [42]

- $16 \div 20^{\circ}\text{C}$ przy zestawie odzieży o izolacyjności cieplnej wynoszącej $0,95 \pm 0,1$ clo, składającym się z analogicznych elementów jak powyższy zestaw oraz z fartucha chirurgicznego z tkaniny termoplastycznej, dwuwarsztowej z włókien polipropylenowych i hydrofilowych włókien wiskozowych.

Komfort i bezpieczeństwo ciepłe pacjentów

Chociaż stwierdza się [29], że w sali operacyjnej konieczność zapewnienia komfortu cieplnego dla pacjenta jest nadrzędna w stosunku do spełnienia wymagań cieplnych personelu medycznego, temperatura powietrza w salach operacyjnych zazwyczaj jest jednak warunkowana wymaganiami i oczekiwaniami zespołu operacyjnego. Im cięższa operacja i im dłuższy czas jej trwania, tym chętniej główni operatorzy obniżają wartość temperatury w celu zapewnienia sobie podczas zabiegu niezbędnego komfortu pracy.

Aby zapobiec śródoperacyjnej hipotermii, przede wszystkim należałoby utrzymywać wysoką, w stosunku do dotychczasowej praktyki, temperaturę powietrza wewnętrznego w sali operacyjnej wynoszącą $24 \div 26^{\circ}\text{C}$ [55], [38]. Stwierdzono [32], że u każdego chorego operowanego w sali operacyjnej o temperaturze powietrza wynoszącej właśnie $24 \div 26^{\circ}\text{C}$, temperatura wewnętrzna nie spadła poniżej 36°C . Temperatura powietrza niższa od 21°C naraziła pacjenta na hipotermię [31], [38] [32], [30], [44]. W publikacji [9] formułując zalecenia w sprawie postępowania okołoperacyjnego mającego na celu uniknięcie niezamierzonej okołoperacyjnej hipotermii u dorosłych stwierdzono, że temperatura na sali operacyjnej nie powinna być niższa niż 21°C . Problemem jest jednak nieakceptowanie przez chirurgów temperatury powietrza wyższej niż 23°C [27], [55].

W salach operacyjnych w szpitalach pediatrycznych ze względu na wiek pacjentów i nie do końca rozwinięty i dobrze działający ich układ termoregulacyjny, co powoduje szczególną podatność na hipotermię, proponuje się następujące wartości temperatury [28]:

- wcześniaki: 36°C ,
- noworodki: 33°C .

Według wskazań WHO [12] w salach operacyjnych dla dzieci temperatura powietrza powinna być wyższa niż 28°C .

Dla pacjentów dorosłych zaleca się temperaturę powietrza w zakresie $24 \div 26^{\circ}\text{C}$ [31], [38], [32].

Prędkość powietrza

Jednym z czynników, które decydują o komforcie jest przepływ powietrza, a raczej przeciąg. Dla wielu osób, szczególnie wrażliwych na ruch powietrza i jego turbulencje, jest to istotna przyczyna uskarżania się na warunki środowiskowe [43].

Podczas projektowania systemów wentylacji i klimatyzacji wartość prędkości powietrza przyjmuje się w oparciu o zalecenia zamieszczone w normie PN-B-03421:1978 [39], powołanej w Rozporządzeniu [35]. Dla osób wykonujących pracę charakteryzującą się małą aktywnością fizyczną w pomieszczeniach klimatyzowanych prędkość powietrza w strefie pracy wynosi maksymalnie w zimie $0,2$ m/s, a w lecie $0,3$ m/s (w praktyce, projektanci do doboru nawiewników powietrza zarówno dla lata, jak i dla zimy przyjmują $0,2$ m/s), a pracę o średniej aktywności, odpowiednio, maksymalnie $0,2$ m/s i $0,4$ m/s. Niższe wartości prędkości powietrza, z podziałem na trzy kategorie pomieszczeń, zamieszczono w normie PN-EN 7730:2006 [40]. Kategoria A w przypadku analizy danych dla szpitala może być najbardziej interesująca, gdyż dotyczy pomieszczeń przeznaczonych dla osób szczególnie wrażliwych na warunki środowiskowe (osób starszych, bardzo małych dzieci, osób z niepełnosprawnościami i chorych). Kategoria B dotyczy budynków nowych i modernizowanych, a kategoria C – budynków istniejących z dopuszczalnym, umiarkowanym poziomem oczekiwań użytkowników. Podano, jako kryteria projektowe, wartości prędkości powietrza dla sezonu letniego, dla osób ubranych w odzież o współczynniku izolacyjności cieplnej $0,5$ clo o tempie metabolizmu $1,2$ met wynoszące od $0,12$ do $0,24$ m/s, a dla sezonu zimowego ($1,0$ clo): $0,1$ - $0,21$ m/s w pomieszczeniach o intensywności turbulencji wynoszącej 40%, co odpowiada wentylacji mieszającej [40]. Chociaż w normie [40] odniesiono się także do osób chorych, podane wartości nie powinny być stosowane dla leżącego w bezruchu pacjenta (około $0,7$ met), a raczej dla personelu wykonującego prace o innej, wyższej aktywności fizycznej. Ograniczeniem stosowania danych z [40] jest przepływ powietrza o intensywności turbulencji 40%. Intensywność turbulencji przepływu laminarnego w obszarze chronionym sali operacyjnej wynosi $\leq 20\%$ [11]).

Wysoka i szybkozmienna wartość prędkości powietrza przepływającego nad pacjentem leżącym w bezruchu na stole operacyjnym, jest istotnym i równo-

rzędnym obok temperatury powietrza, czynnikiem wpływającym na wychłodzenie jego organizmu.

W normie ASHRAE 170-2017 [1] zaleca się, aby maksymalna prędkość powietrza wynosiła $0,18$ m/s, w normach państw europejskich: $< 0,2$ m/s w Hiszpanii (UNE 100713:2005 [53]), $0,25 \div 0,35$ m/s we Francji (NF S 90-351: 2013 [33]). Wśród informacji, które ukazują się w różnych publikacjach na temat projektu normy europejskiej dotyczącej wentylacji i klimatyzacji sal operacyjnych, pojawiają się także wartości prędkości powietrza wynoszące $0,24 - 0,45$ m/s [44].

Warto zwrócić uwagę na zalecane prędkości powietrza na wysokości stołu operacyjnego w sali ze stropem laminarnym: $0,23 \div 0,25$ m/s (DIN 1946-4:2018 [11]), w Wytycznych zalecanych przez Ministerstwo Zdrowia w Polsce [7]: $0,18 \div 0,25$ m/s.

Zbyt duże wartości prędkości powietrza i wysoka turbulencja spowodują nie tylko odczucie przeciągu i wychłodzenia pacjenta, lecz także wpłyną na rozprzestrzenianie się bioaerozolu i zanieczyszczeń stałych w sali operacyjnej [44].

Podsumowanie

Na podstawie przedstawionych informacji należy stwierdzić, że u znieczulonego pacjenta w sali operacyjnej niezamierzona hipotermia śródoperacyjna jest efektem jednoczesnego działania anestetyków oraz środowiska i procedur. Warunki środowiskowe, takie jak niska temperatura i podwyższona prędkość powietrza, istotnie wpływają na wychłodzenie pacjentów. Jednak podwyższenie temperatury powietrza obniża komfort pracy chirurgów.

Leki używane w znieczuleniu ogólnym prowadzą do upośledzenia mechanizmów termoregulacji broniących organizm przed nadmierną stratą ciepła, dochodzi do spowolnienia metabolizmu oraz zwolnienia pracy mięśni poprzecznie prążkowanych, co powoduje utratę ciepła wskutek promieniowania i konwekcji [51]. Hipotermia zwiększa ryzyko powikłań, w tym zakażeń, występujących w trakcie zabiegu, jak i po jego wykonaniu, a co się z tym wiąże, prowadzi do wydłużenia czasu opieki szpitalnej oraz zwiększenia kosztów leczenia.

Sposobem na poprawienie tej sytuacji jest stosowanie różnych metod ogrzewania pacjenta, ale także podwyższenie temperatury powietrza w sali operacyjnej. Konieczne byłoby ustalenie kompromisu pomiędzy wymaganiami cieplnymi personelu a warunkami prowadzącymi do ograniczenia wychłodzenia pacjenta.

Przez Autorkę niniejszego artykułu, w oparciu o badania in situ, prowadzone są analizy mające na celu ocenę oddziaływania warunków ciepłych oraz ruchu powietrza w sali operacyjnej na zmiany w stanie równowagi cieplnej pacjenta w stanie niezamierzonej hipotermii środowiczej.

LITERATURA

- [1] ANSI/ASHRAE/ASHE Standard 170-2017, Ventilation of Health Care Facilities
- [2] AST Guidelines for Best Practice in Maintaining Normothermia in the Perioperative Patient, 2019
- [3] Balaras CA, Dascalaki E, Gaglia A., HVAC and indoor thermal comfort conditions in hospital operating rooms, *Energy and Building*, 2007;39: s. 454-70
- [4] Białowska KA, Horosz B, Grzelak M, Malec-Milewska M. Prewencja niezamierzonej hipotermii okołoperacyjnej jako czynnika zwiększającego ryzyko powikłań, w tym powikłań infekcyjnych. *Zakazenia XXI wieku* 2019;2(5):219-223
- [5] Caterino J.M., Kahan S., In a Page Emergency Medicine, eds. Blackwell Publishing, 2003
- [6] Charkowska A., Nowoczesne systemy klimatyzacji w obiektach służby zdrowia, Wyd. IPPU MASTA, 2000
- [7] Charkowska A., Różycki A., Lenarski R., Sobierajska A., Wytyczne projektowania, wykonania, odbioru i eksploatacji systemów wentylacji i klimatyzacji dla podmiotów wykonujących działalność leczniczą, wyd. Pracodawcy Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa, 2018
- [8] College bouw ziekenhuisvoorzieningen (CBZ). „Operatieafdeling”. 2004
- [9] Czyż -Szypienbejl K., Krukowska-Sitek A., Jadczyk M., Zdun A., Wit P., Zalecenia w sprawie postępowania okołoperacyjnego mającego na celu uniknięcie niezamierzonej okołoperacyjnej hipotermii u dorosłych, *Pielęgniarstwo w Anestezjologii i Intensywnej Opiece*, 2017;3(2): 55-60
- [10] Dębiec-Bąk A., Skrzek A., Jonak A., Zróżnicowanie temperatury powierzchniowej ciała pod wpływem różnych bodźców w badaniach termowizyjnych, *Acta Bio-Optica et Informatica Medica* nr 4, vol. 15, 2009, s. 322- 327
- [11] DIN 1946-4:2018, Ventilation and air conditioning - Part 4: Ventilation in buildings and rooms of health care
- [12] Essential Surgical Care, Manual, Fundamentals of Surgical Practice, The Paediatric Patient, WHO, <http://www.steinergraphics.com/> (dostęp: 8.12.2015 r.)
- [13] Fanger P.O., *Komfort cieplny*, Arkady, Warszawa
- [14] GOST R 52539-2006, ГОСТ Р 52539-2006, Чистота воздуха в лечебных учреждениях. Общие требования. Air cleanliness in hospitals. General requirements
- [15] Horosz B., Niezamierzona hipotermia środowiczej, prezentacja, Klinika Anestezjologii i Intensywnej Terapii Centrum Medycznego Kształcenia Podyplomowego Warszawa Łódź, 19 maja 2015 r. (dostęp: 4.11.2015 r.)
- [16] Horosz B., Malec-Milewska M., Hipotermia okołoperacyjna – czynnik zwiększający ryzyko powikłań infekcyjnych, *Forum Zakazeni* nr 5 (2), 2014, s. 67-71
- [17] Horosz B., Malec-Milewska M., Niezamierzona środowiczej hipotermia, *Anestezjologia Intensywna Terapia* 2013, tom XLV, nr 1, 41-47
- [18] HTM 03-01-Part A: 2007, Heating and ventilation systems. Health Technical Memorandum 03-01: Specialised ventilation for healthcare premises. Design and installation
- [19] Kaciuba-Uściłko H., Termoregulacja, w: Traczyk W. Z., Trzebski A. (red.), *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*, wyd. III zmienione i uzupełnione, 2004
- [20] Klinke T., *Komfort cieplny w salach operacyjnych*, COW 7/1973, s. 205-209
- [21] Kłosiewicz T., Zalewski R., Hipotermia pourazowa jako wyzwanie dla personelu zespołów ratownictwa medycznego, *Pomeranian Journal of Life Sciences*, 2018; 64(4) s. 30-35
- [22] Koradecka D. (red. naukowy), *Bezpieczeństwo pracy i ergonomia*, Tom I, Centralny Instytut Ochrony Pracy, Warszawa, 1999
- [23] Kosiński S., Darocha T., Niezamierzona hipotermia w oddziale intensywnej terapii – przyczyny, skutki i postępowanie, *Pielęgniarstwo w anestezjologii i intensywnej opiece*, 2017;3(3):145-151
- [24] Kosiński S., Darocha T., Sadowski J., Dewiła J., Hipotermia - kliniczne aspekty wychłodzenia organizmu. Mechanizmy zagrożeń i kierunki nowoczesnego leczenia, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków, 2016
- [25] Kruczkowski P., Wytyczne projektowania szpitali ogólnych. Instalacje sanitarne. Zeszyt 5: Wentylacja i Klimatyzacja oprac. Biuro Studiów i Projektów Służby Zdrowia, Warszawa, 1984
- [26] Larsen R., *Anestezjologia ogólna*, tom II, Wydawnictwo Medyczne Urban & Partner Urban & Partner, Warszawa, 2013
- [27] Leslie K., Sessler, D.I., Perioperative Hypothermia in the high-risk surgical patient, *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, vol.17, no. 4, 2003, s. 485- 498
- [28] Manowska M., Bartkowska-Śniatkowska A., Zielińska M., Kobylarz K., Piotrowski A., Walas W., Wołoszczuk-Gębicka B., The consensus statement of the Paediatric Section of the Polish Society of Anaesthesiology and Intensive Therapy on general anaesthesia in children under 3 years of age, *Anaesthesiology Intensive Therapy* nr 45, 2013, s. 119-133
- [29] Melhado M. A., Hensen J. L. M., Loomans M., Literature Review of Staff Thermal Comfort and Patient “Thermal Risks” in Operating Rooms, *Proceedings of 8th International Healthy Buildings Conference 2006*, Porto, Vol. II, s. 11-14
- [30] Michalska-Krzyszowska G., Stasiak-Pikuła E., Kowalczyk P., Pakulski C., Sposoby utrzymania stałej ciepłoty ciała podczas znieczulenia ogólnego do przeszczepu wątroby – doświadczenia własne, *Anestezjologia Intensywna Terapia* nr 3, 2002, s. 178-181
- [31] Mora R, English MJM, Athienitis AK., Assessment of thermal comfort during surgical operations. *ASHRAE Transactions* 2001;107 (part 1): s. 52-62
- [32] Morris R. H., Operating room temperature and the anaesthetized paralyzed patient, *Archives of Surgery Journal*, nr 102, 1971, s. 95-97
- [33] NF S 90-351:2013, Établissements de santé - Zones à environnement maîtrisé - Exigences relatives à la maîtrise de la contamination aéroportée
- [34] Nieradko-Iwanicka B., Układ termoregulacji człowieka i wpływ czynników atmosferycznych na odczucia ciepła człowieka, *skrypty Lublin*
- [35] Obwieszczenie Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 8 kwietnia 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U.2019.1065 (z nowelizacjami)
- [36] Olesen B.W., Bovenzi M., Assessment of the indoor environment in a hospital, In: *Proceedings of the CLIMA 2000 World Congress on Heating, Ventilating and Air-Conditioning held in Copenhagen*, 25-30 August, 1985, Vol. 4: Indoor Climate, s. 195-200, red. Fanger P.O., wyd.: REHVA, Kopenhaga, Dania
- [37] ÖNORM H 6020:2015, Ventilation and air conditioning plants for locations for medical use - Design, construction, operation, maintenance, technical and hygienic inspections
- [38] Patania F, Gagliano A., Nocera F., Galesi A., Thermal comfort in operating rooms: a case study, w: *Environmental Health and Biomedicine*, Vol. 15, red.: Brebbia C.A., Eglite M., Knets I., Miftahof R., Popov V., WIT Press, 2011, s. 105-114
- [39] PN-B-03421:1978, Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi
- [40] PN-EN ISO 7730:2006/Ap2:2016-04, Ergonomia środowiska termicznego. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów miejscowego komfortu termicznego
- [41] Podsiadło P., Kosiński S., Darocha T., Sanak T., Sompór J., Gałązkowski R., Krzych Ł., Nogalski A., Hipotermia – jak nie odebrać choremu szansy na przeżycie, styczeń 2018, <https://podyplomie.pl/prEN-16244-2-Ventilation-in-Hospitals;Part-2-Operating-suites>
- [42] Recknagel H, Sprenger E., Schramek E.R., *Kompendium wiedzy. Ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda, chłodnictwo*, Omni Scala, Wrocław, 2008
- [43] Sánchez-Barroso G., Sanz-Calcedo J.G., Evaluation of HVAC Design Parameters in High-Performance Hospital Operating Theatres, *Sustainability* 2019, 11(5), 1493; <https://doi.org/10.3390/su11051493>
- [44] SIS-TS 39:2015, Microbiological cleanliness in the operating room - Preventing airborne contamination - Guidance and fundamental requirements, SIS, Swedish Standard Institute, Stockholm, Sweden, 2015
- [45] Soar J., Perkins G.D., Abbas G., Alfonso A., Barelli A., Biersens J.J.L.M., Brugger H., Deakin Ch.D., Dunning J., Georgiou M., Handley A.J., Lockey D.J., Paal P., Sandroni C., Thies K.-Ch., Zideman D.A., Nolan J.P., *Zatrzymanie krążenia – postępowanie w sytuacjach szczególnych: zaburzenia elektrolitowe, zatrucia, tonięcie, przypadkowa hipotermia, hipertermia, astma, anafilaksja, zabiegi kardiochirurgiczne, urazy, ciąża, porażenie prądem*, rozdział 8, w: *Zasady nauczania resuscytacji*, red. naukowa: Andres J., Wydawnictwo FALL, Kraków, 2010
- [46] Sołtyński K., Konarska M., Pyryt J., Sobolewski A., Research on typical medical work clothing on humans and on a thermal manikin, w: *Proceedings of the Third International Meeting on Thermal Manikin Testing 3IMM*, National Institute for Working Life, Stockholm, 2000, s. 18-22
- [47] Sosnowski P., Mikrut H., Krauss H., Hipotermia – mechanizm działania i patofizjologiczne zmiany w organizmie człowieka, *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, tom 69, 2015, s. 69-79
- [48] Sudół-Szopińska I., Tarnowski W., Thermal comfort in the operating suite, *Borgis - New Medicine* nr 2, 2007, s. 40-46
- [49] SWKI-Guideline 99-3E:2004, Heating, ventilation and air-conditioning systems in hospitals
- [50] Szymyd M., Motyssek K., Niezamierzona hipotermia okołoperacyjna jako czynnik zwiększający ryzyko różnych powikłań – w tym zakazeń, www.skamex.com.pl (dostęp: 15.01.2021)
- [51] Szygula Z., Gawronski W., Wnorowski J., Furgat W., Schorzenia ciepłe w suchym tropiku – przyczyny i zapobieganie, w: *Przygotowanie psychofizyczne oraz kształtowanie umiejętności w działaniach interwencyjnych i ratunkowych służb mundurowych*, red. Klukowski K., Klimczak J., KTNKF, Szczepno 2005, tom 9, 2005, s.105-107
- [52] UNE 100713:2005, Instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales
- [53] Van Gaever R., Jacobs V.A., Diltoer M., Peeters L., Vanlanduit S., Thermal comfort of the surgical staff in the operating room, *Building and Environment*, 81, 2014, s. 37-41
- [54] Wildt M., Pressure Hierarchy and Indoor Climate of Hospital Rooms, w: *Ventilation and Indoor Air Quality in Hospitals*, red. Maroni M., Springer Netherlands, 1996, s. 219-225
- [55] Wyon D.P., Lidwell O.M., Williams R.E.O., Thermal comfort during surgical operations, *Journal of Hygiene*, 7, 1968, s.229-248
- [56] Ziółko E., *Podstawy fizjologii człowieka*, Państwo Wyzsza Szkoła Zawodowa w Nysie, Skrypt nr 10, Oficyna Wydawnicza PWSZ w Nysie, Nysa, 2006