

# Komfort cieplny w szpitalach - przegląd stanu wiedzy

*Dr hab. inż. Anna Bogdan, prof. uczelni*

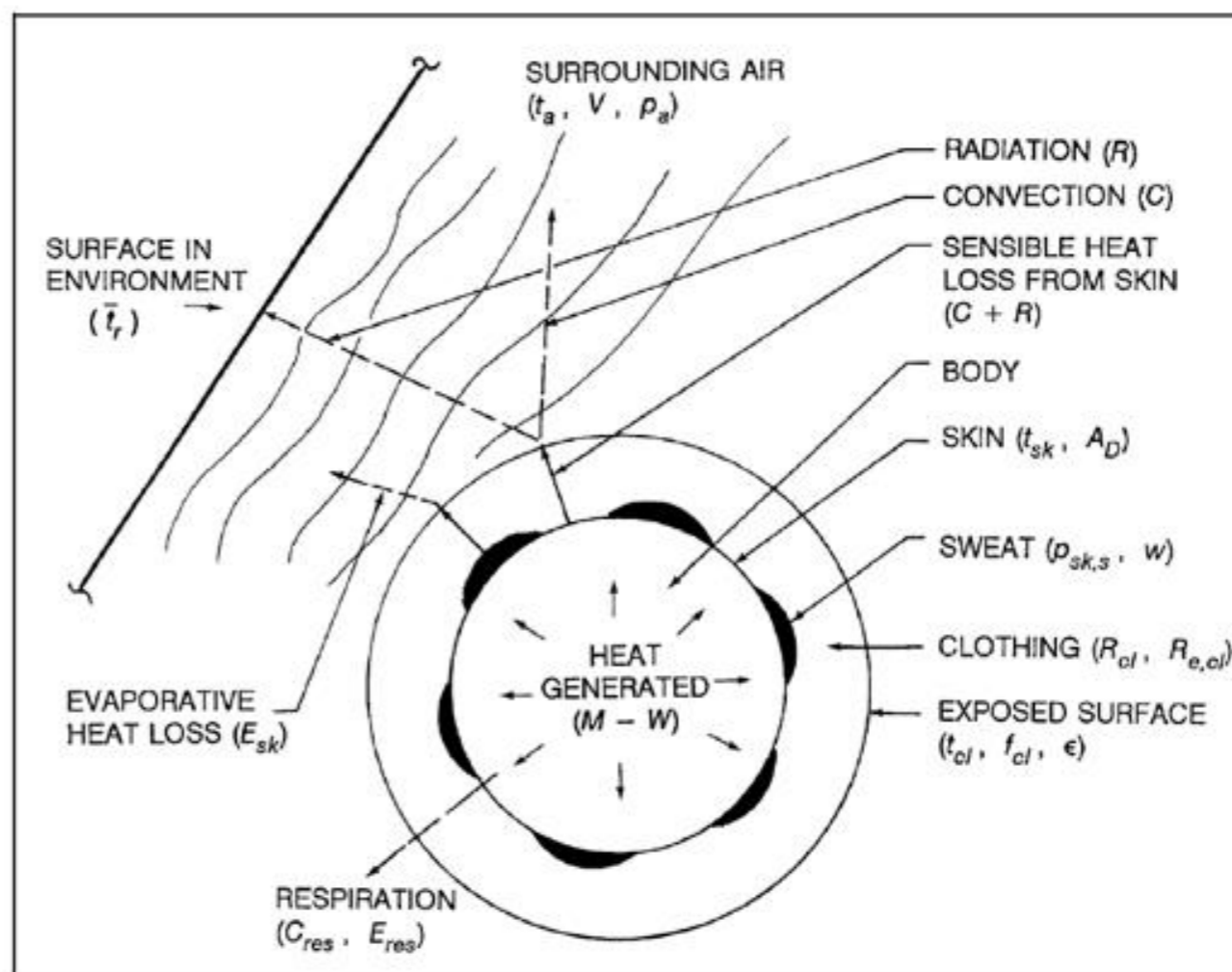
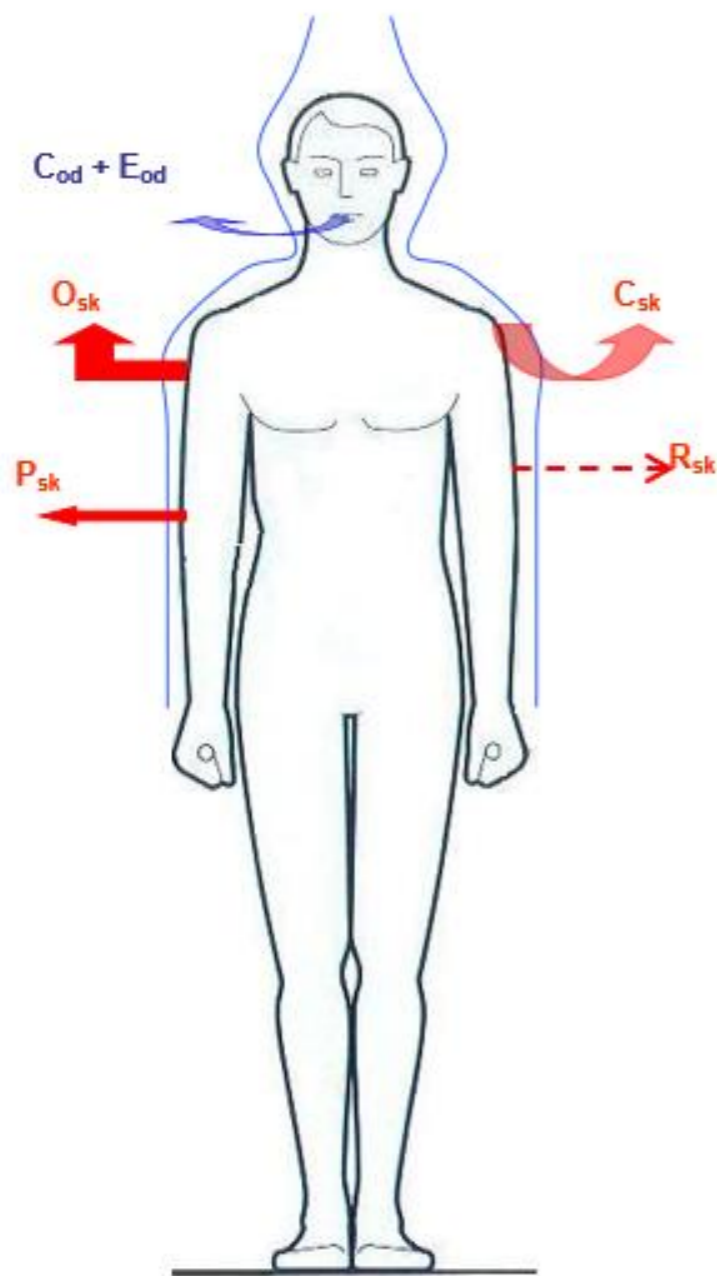
*Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska,  
Politechnika Warszawska*

*Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych*

**Politechnika  
Warszawska**



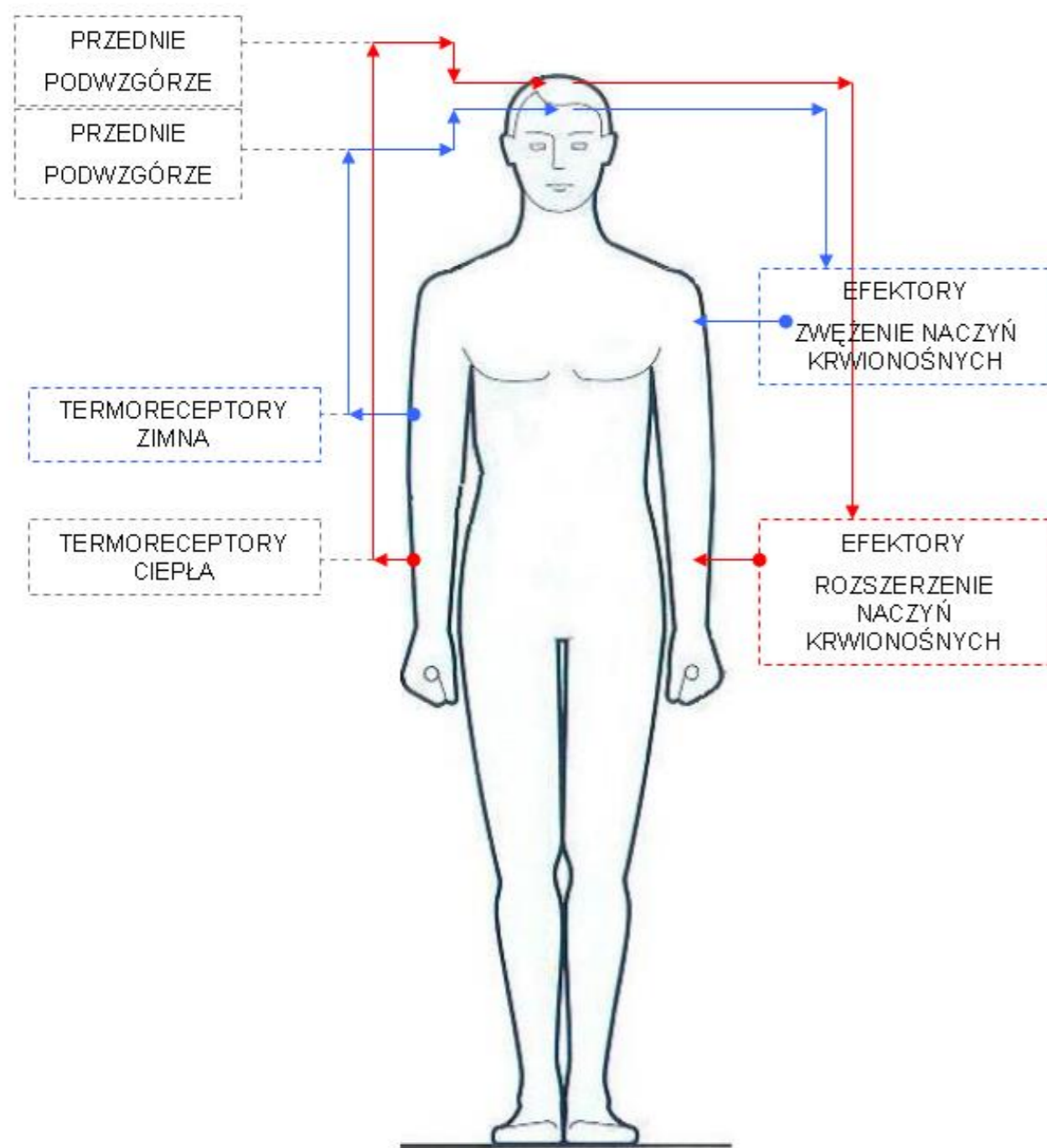
# Wymiana ciepła między człowiekiem a otoczeniem



Promieniowanie 60%  
Przewodzenie 18%  
Odparowanie 22%

Komfort cieplny opisuje odczucie zadowolenia jednostki w odniesieniu do środowiska termicznego

# Wymiana ciepła między człowiekiem a otoczeniem



- Za regulację temperatury ciała odpowiada ośrodek termoregulacji, który jest zlokalizowany w podwzgórzu mózgu. Układ termoregulacji składa się z 3 elementów:
- termoreceptorów i termodetektorów – czujników wrażliwych na zmianę temperatury otoczenia i wnętrza ciała,
  - ośrodka termoregulacji – elementu działającego na zasadzie termostatu, przetwarzającego sygnały ze struktur wrażliwych i przekazującego odpowiednie informacje do efektorów układu termoregulacji,
  - efektorów układu termoregulacji (głównie mięśni) – struktur przetwarzających i realizujących odpowiedź układu nerwowego.

# Wymiana ciepła między człowiekiem a otoczeniem

Aklimatyzacja/  
adaptacja

Przyjmowane  
leki

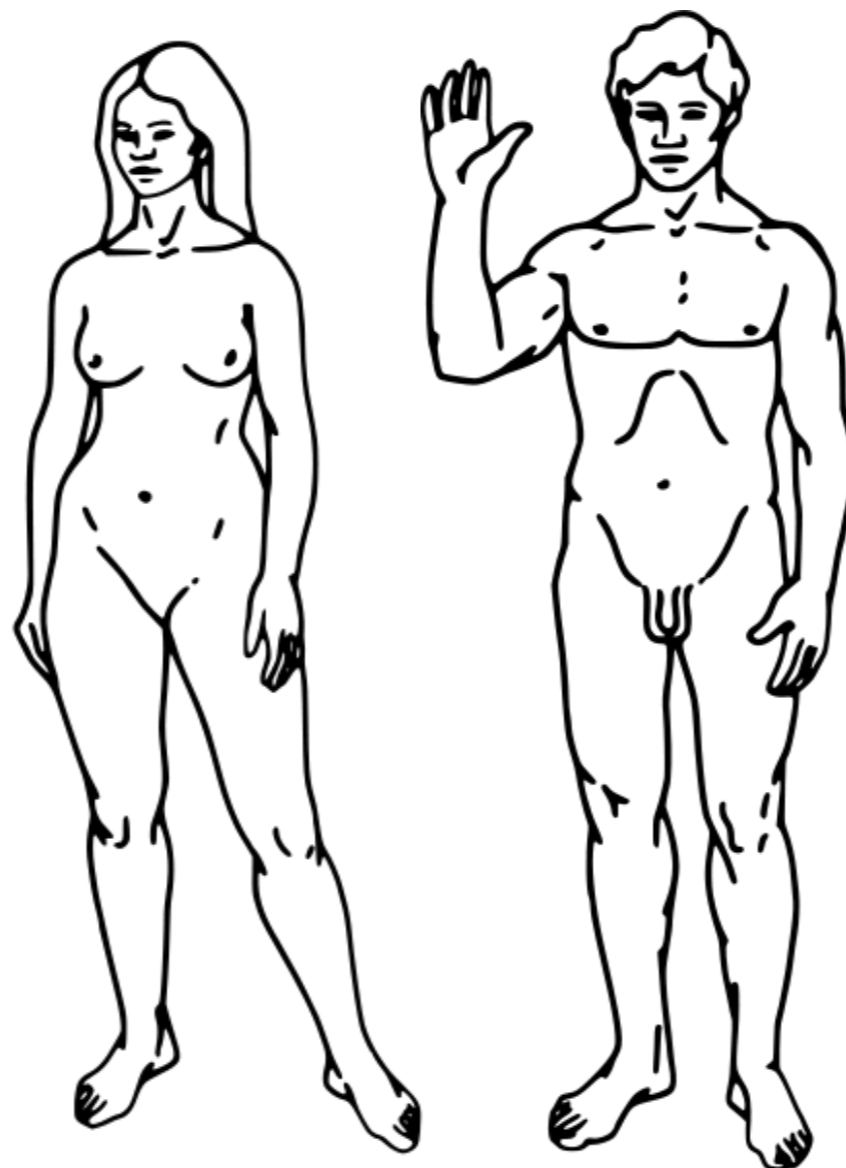
Wiek

Stan  
zdrowia

Nawadnianie  
organizmu

PPE

Aktywność  
człowieka



Temperatura  
powietrza

Wilgotność  
powietrza

Prędkość  
powietrza

Temperatura  
promieniowania

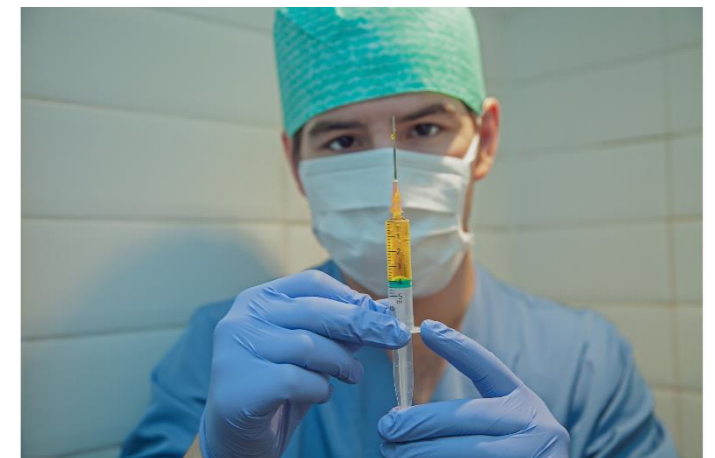
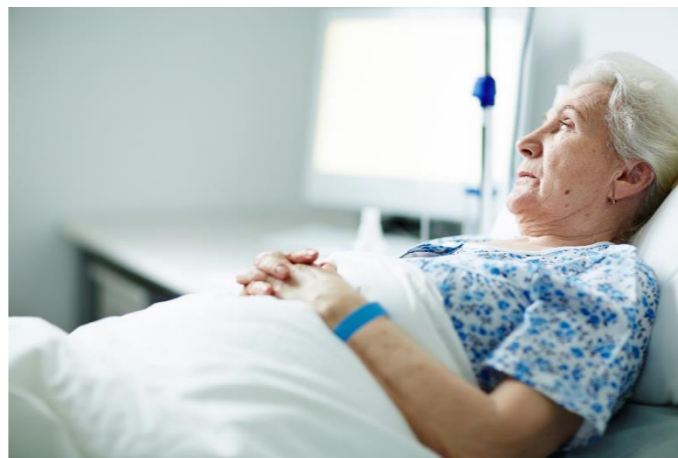
Nasłonecznienie

# Wymiana ciepła między człowiekiem a otoczeniem

- Sala operacyjna:



- Sala chorych



- Gabinety, poradnie itp.



# Środowisko cieplne

| Country  | Year       | Subjects                | Methods                               | Main conclusions   | Reference |
|----------|------------|-------------------------|---------------------------------------|--|-----------|
| Sweden   | 2005       | Patients and staff      | Objective and subject data collection | Comparisons showed that the difference between staff and patients perception of the indoor air temperature differed more during winter than summer despite that physical measurements showed that the temperatures were similar in both seasons. | [57]      |
| Japan    | 2005, 2008 | Patients and staff      | Objective and subject data collection | The existence of low humidity environments (relative humidity was less than 40%) in a hospital during winter was confirmed, and the levels of low humidity reached those known to promote the spread of influenza viruses.                       | [48, 49]  |
| Italy    | 2013       | Patients and staff      | Objective and subject data collection | Patients were more satisfied with building-related aspects and indoor conditions than medical staff.   | [35]      |
|          | 2019       | Pregnant women          | Objective and subject data collection | For pregnant women in a typical sedentary condition when hosted in the inpatient room, the met value corresponds to 2.17.  | [56]      |
| Malaysia | 2013       | Staff                   | Objective and subject data collection | People would prefer the lower temperature to the neutral; The neutral operative temperature based on TSV and PMV regression models are 26.88 °C and 25 °C, respectively.   | [52]      |
|          | 2013       | Non-patient respondents | Objective and subject data collection | The effective neutral temperatures based on TSV and PMV are 23.4 °C and 21.3 °C, respectively; Preferred operative and effective temperatures (OT,ET*) are 23.6 °C and 20.3 °C, respectively.  | [53]      |
|          | 2014       | Staff                   | Objective and subject data collection | The adaptive model is $T_n = 0.3314T_{out} + 14.858$ . The most comfortable or neutral temperature found from the field study in hospitals was 26.4 °C.  | [54]      |

# Środowisko cieplne

|             |      |                                  |  |   |      |
|-------------|------|----------------------------------|--|---|------|
|             | 2019 | Patients and visitors            | Objective and subject data collection                          | The operative temperature range of 22.0-28.0 °C is thermally acceptable to more than 86% of subjects. Mean comfort temperatures for patients and visitors were 25.3 °C and 25.5 °C, respectively.   | [38] |
| Portugal    | 2014 | Surgeons and nurses              | CFD simulation   | The surgeon felt the room environment hotter than the nurse. The nurse felt a slightly cold sensation under the air supply diffuser and a neutral zone located in the air stagnation zones close to the walls.  | [43] |
| Poland      | 2015 | Surgical staff                   | Thermal environment measurements                               | The thermal Environment in most of measured ORs was assessed as 'warm' or 'slightly warm' for nurses, surgeon's assistants and surgeons, while quite comfortable for anesthetists.  | [44] |
| Madagascar  | 2017 | Patients                         | Questionnaires, interviews and physical parameter measurements | Mean neutral operative temperature was 23.65 °C and 24.2 °C for women and men, respectively. mean neutral ET* was 24.26°C ; the mean standard effective temperature was 25.46 °C; the lower and upper acceptable temperatures for 80% of the patients were 21.0 °C and 26.8 °C. The 90% of the patients reported a comfortable temperature range between 22.4 °C and 25.3 °C. | [55] |
| Thailand    | 2017 | Patients, visitors, and staff    | Objective and subject data collection                          | The acceptable temperature range for the patient, visitor, and medical staff are at 21.8–27.9, 22.0–27.1, and 24.1–25.6 °C, respectively.   | [58] |
| Netherlands | 2018 | Nursing staff                    | Objective and subject data collection                          | The optimal thermal sensation for the nurses would be closer to 'slightly cool' than neutral.   | [36] |
| Netherlands | 2018 | Nursing staff and office workers | Objective and subject data collection                          | The thermal environment in the hospital wards was perceived as slightly warm while the office workers rated their Environment on the cool side.   | [37] |
| UK          | 2019 | The ultrasound area              | Objective data collection                                      | Anthropogenic and waste heat from equipment has a noticeable effect on indoor temperatures.   | [50] |

# Środowisko cieplne

|                   |      |                                  |  |   |          |
|-------------------|------|----------------------------------|--|---|----------|
| Poland            | 2015 | Surgical staff                   | Thermal environment measurements                               | The thermal Environment in most of measured ORs was assessed as 'warm' or 'slightly warm' for nurses, surgeon's assistants and surgeons, while quite comfortable for anaesthetists.   | [44]     |
| Madagascar        | 2017 | Patients                         | Questionnaires, interviews and physical parameter measurements | Mean neutral operative temperature was 23.65 °C and 24.2 °C for women and men, respectively. mean neutral ET* was 24.26°C ; the mean standard effective temperature was 25.46 °C; the lower and upper acceptable temperatures for 80% of the patients were 21.0 °C and 26.8 °C. The 90% of the patients reported a comfortable temperature range between 22.4 °C and 25.3 °C. | [55]     |
| Thailand          | 2017 | Patients, visitors and staff     | Objective and subject data collection                          | The acceptable temperature range for patient, visitor, and medical staff are at 21.8–27.9, 22.0–27.1, and 24.1–25.6 °C, respectively.   | [58]     |
| Netherlands       | 2018 | Nursing staff                    | Objective and subject data collection                          | The optimal thermal sensation for the nurses would be closer to 'slightly cool' than neutral.   | [36]     |
| Netherlands       | 2018 | Nursing staff and office workers | Objective and subject data collection                          | The thermal Environment in the hospital wards was perceived as slightly warm while the office workers rated their Environment on the cool side.   | [37]     |
| UK                | 2019 | The ultrasound area              | Objective data collection                                      | Anthropogenic and waste heat from equipment has a noticeable effect on indoor temperatures.   | [50]     |
| Norway            | 2019 | Patients and medicine staff      | Objective and subject data collection                          | OR with MV may have higher dissatisfied percentage with thermal environment than in laminar air flow LAF OR.  | [45, 46] |
| Italy and Denmark | 2020 | Physiotherapists and patients    | Objective and subject data collection                          | Patients preferred temperature ranges of 22.5–24.5 °C and 20–22.5 °C, respectively during static and dynamic treatments, while therapists seemed to better adapt to the Environment by adjusting their clothing level. The thermal perception was generally closer to neutrality than predicted with the PMV-PPD model.   | [51]     |
| Saudi Arabia      | 2020 | Patients                         | Objective and subject data collection                          | Using PMV or a non-patient-specific temperature for hospital rooms is a poor idea.  | [13]     |

# Odczucia cieplne – perspektywa w sali operacyjnej

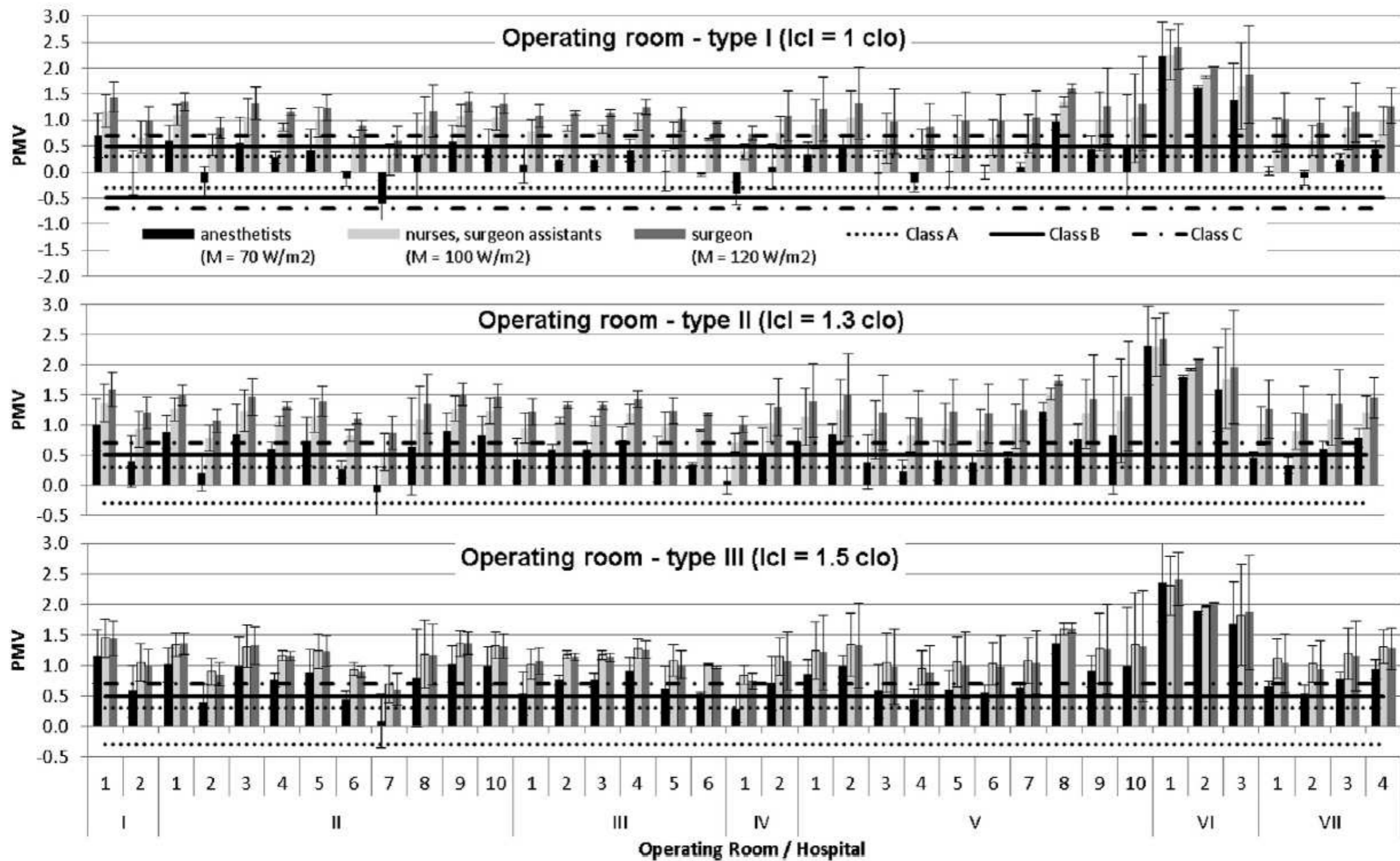
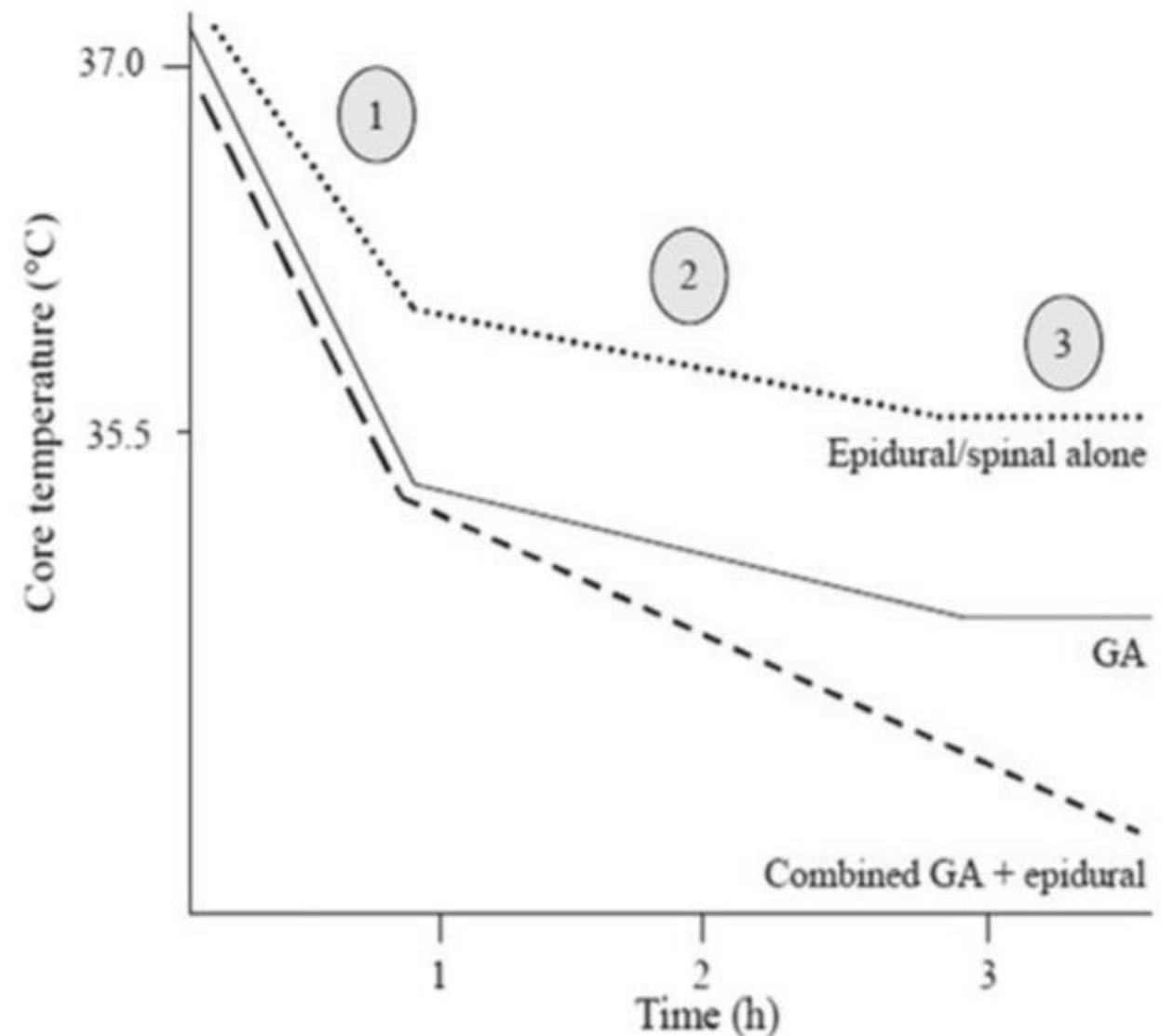


Fig. 3. Thermal comfort of medical staff in operating rooms – comparison of PMV indicators with the recommendations of the standard [29].



# Odczucia ciepłne – perspektywa w sali operacyjnej

- Zależność między znieczuleniem a hipotermią nie wynika wyłącznie z zimnego otoczenia i minimalnego okrycia pacjenta, ale również z zahamowania mechanizmów obronnych termoregulacji podczas znieczulenia.
- Podczas operacji spadek temperatury wewnętrznej pacjentów ma charakter dynamiczny i przebiega według charakterystycznego trójfazowego schematu: w fazie 1 obserwowany jest gwałtowny spadek temperatury ośrodkowej o  $1^{\circ}\text{C}$  w ciągu pierwszej godziny znieczulenia; w 2 fazie dochodzi do dalszego, wolniejszego, liniowego obniżenia temperatury ośrodkowej w ciągu około 2 godzin do wartości  $34\text{--}35^{\circ}\text{C}$ , kiedy to zostaje osiągnięte plateau, czyli faza 3 równowagi termicznej.
- Jeżeli nie uda się zapobiec hipotermii, przywrócenie normotermii może trwać ponad 4 godziny od zakończenia znieczulenia.



# Odczucia ciepłne – perspektywa w sali operacyjnej

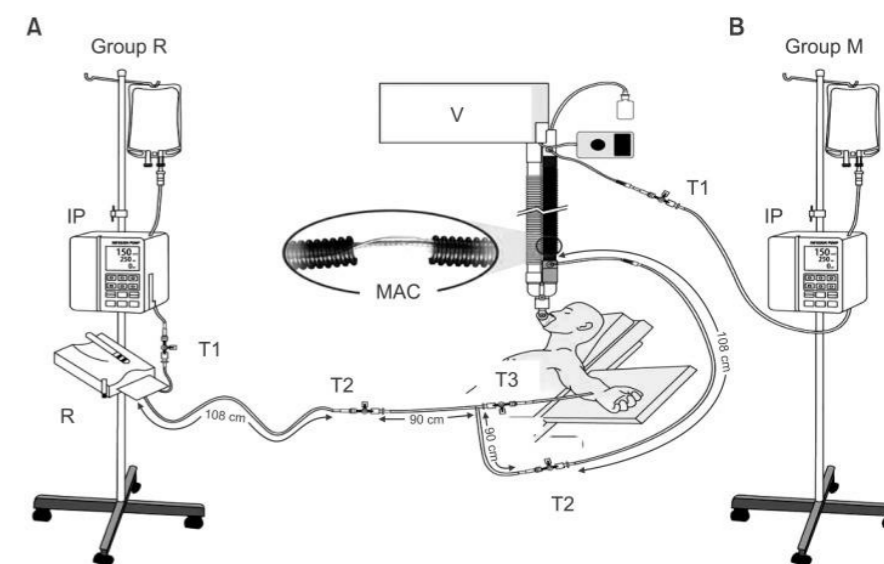
- Przyjmuje się, że od 70 do 90% pacjentów podczas operacji doświadcza hipotermii.
- Uzyskanie przez pacjenta stanu hipotermii okołoperacyjnej może prowadzić do ostrej niewydolności krążenia, licznych powikłań związanych z gojeniem się ran, co w konsekwencji, w ostrych przypadkach może doprowadzić do zgonu.
- Jak wykazują niektóre badania ryzyko wystąpienia pooperacyjnych komplikacji sercowo-naczyniowych u pacjentów, u których nie wystąpił stan hipotermii okołoperacyjnej, jest o 80% mniejsze niż u pacjentów będących w stanie hipotermii.
- Stan lekkiej hipotermii powoduje już zaburzenie mechanizmów krzepnięcia krwi, co w konsekwencji prowadzi do konieczności transfuzji, jak również czas wybudzania pacjenta przedłuża się o 30% a długość hospitalizacji zwiększa się o 20%.



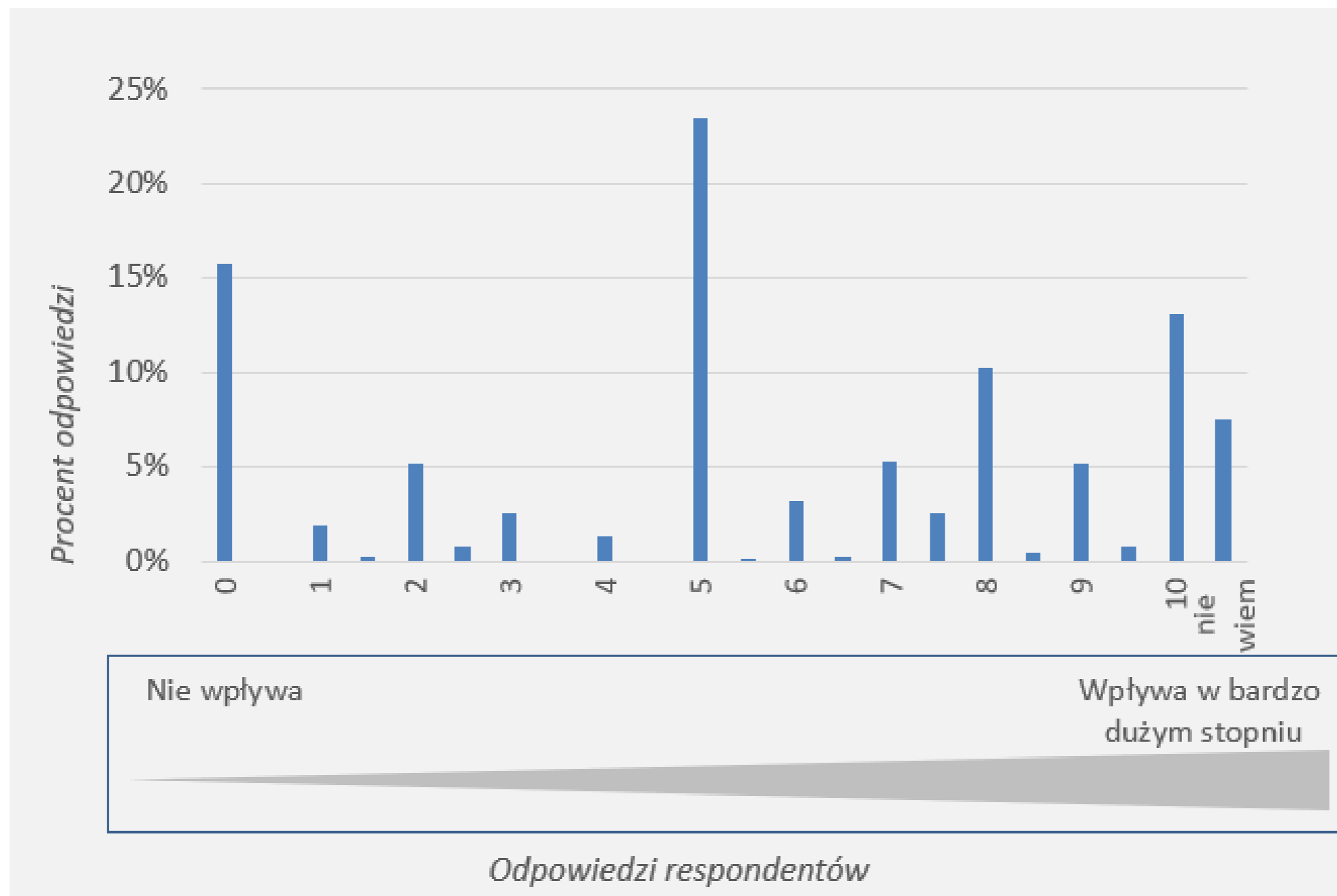
# Odczucia cieplne – perspektywa w sali operacyjnej

Zapobieganie:

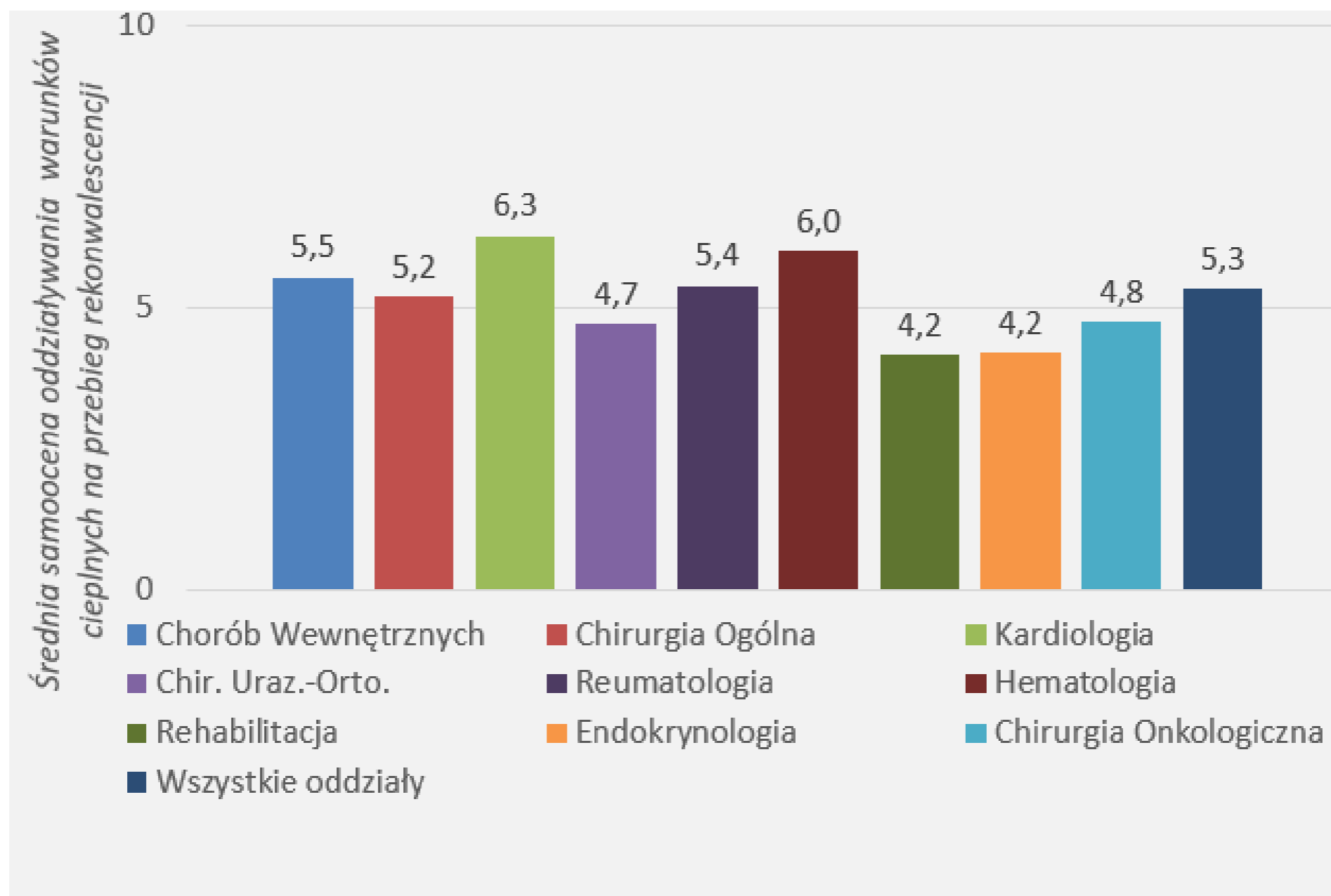
- Ogrzewanie z wyprzedzeniem (pre-warming)
- Ogrzewanie aktywne podczas operacji
- Pasywna redukcja utraty ciepła



# Sala chorych - wpływ środowiska cieplnego na rekonwalescencje



# Sala chorych - wpływ środowiska cieplnego na rekonwalescencję



# Podsumowanie

1. Prawidłowo zaprojektowany układ pomieszczeń może poprawić wydajność operacyjną szpitala oraz zadowolenie personelu i pacjentów.
2. Płeć, wiek, stan zdrowia i inne powiązane mogą mieć wpływ na zadowolenie ze środowiska cieplnego.
3. Klasyfikacja pacjentów według chorób i podawanie odpowiednich wartości temperatury powietrza/operatywnej może być pomocne w projektowaniu środowiska termicznego szpitala. Podział na strefy obszarów dla kontroli środowiska wewnętrznego i spersonalizowanego mikrośrodowiska mogą również stanowić przyszłe kierunki badań.
4. W salach operacyjnych trendem jest prowadzenie badań dot. odczuć cieplnych poszczególnych osób w różnych obszarach funkcjonalnych, takich jak różne strefy w salach operacyjnych.
5. Koce samorozgrzewające się, urządzenia do ogrzewania ciepłym powietrzem i podgrzewanie płynów dożylnych mają różną skuteczność niemniej są generalnie dobrymi rozwiązaniami w celu zapewnienia zadowalającej kontroli temperatury ciała i zmniejszają dyskomfort pacjentów w okresie okołoperacyjnym.



# Bibliografia

1. Weirich TL. Hypothermia/Warming Protocols: Why Are They Not Widely Used in the OR? *AORN J.* 2008;87(2):333-344. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aorn.2007.08.021>
2. Sadrizadeh S, Aganovic A, Bogdan A, et al. A systematic review of operating room ventilation. *J Build Eng.* 2021;40:102693. doi:10.1016/j.job.2021.102693
3. Cao G, Nilssen AM, Cheng Z, Stenstad LI, Radtke A, Skogås JG. Laminar airflow and mixing ventilation: Which is better for operating room airflow distribution near an orthopedic surgical patient? *Am J Infect Control.* 2019;47(7):737-743. doi:10.1016/j.ajic.2018.11.023
4. Yanovich R, Ketko I, Charkoudian N. Sex differences in human thermoregulation: Relevance for 2020 and beyond. *Physiology.* 2020;35(3):177-184. doi:10.1152/physiol.00035.2019
5. González-Alonso J. Human thermoregulation and the cardiovascular system. *Exp Physiol.* 2012;97(3):340-346. doi:10.1113/expphysiol.2011.058701
6. Sadeghian P, Wang C, Duwig C, Sadrizadeh S. Impact of surgical lamp design on the risk of surgical site infections in operating rooms with mixing and unidirectional airflow ventilation: A numerical study. *J Build Eng.* 2020;31:101423. doi:10.1016/j.job.2020.101423
7. Sadrizadeh S, Afshari A, Karimipannah T, Håkansson U, Nielsen P V. Numerical simulation of the impact of surgeon posture on airborne particle distribution in a turbulent mixing operating theatre. *Build Environ.* 2016;11:140-147. doi:10.1016/j.buildenv.2016.10.005
8. Sadrizadeh S, Holmberg S. Surgical clothing systems in laminar airflow operating room: A numerical assessment. *J Infect Public Health.* 2014;7(6):508-516. doi:10.1016/j.jiph.2014.07.011
9. Ralph N, Gow J, Duff J. Preventing perioperative hypothermia is clinically feasible and cost effective. *J Perioper Nurs.* 2019;32(1):3-4. doi:10.26550/2209-1092.1051
10. de Brito Poveda V, Clark AM, Galvão CM. A systematic review on the effectiveness of prewarming to prevent perioperative hypothermia. *J Clin Nurs.* 2013;22(7-8):906-918. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2702.2012.04287.x>



# Bibliografia

11. Knaepel A. Inadvertent Perioperative Hypothermia: A Literature Review. *J Perioper Pract.* 2012;22(3):86-90. doi:10.1177/175045891202200302
12. Nastase I, Croitoru C, Vartires A, Tataranu L. Indoor Environmental Quality in Operating Rooms: An European Standards Review with Regard to Romanian Guidelines. In: *Energy Procedia.* Vol 85. Elsevier Ltd; 2016:375-382. doi:10.1016/j.egypro.2015.12.264
13. Hakim M, Walia H, Dellinger HL, et al. The Effect of Operating Room Temperature on the Performance of Clinical and Cognitive Tasks. *Pediatr Qual Saf.* 2018;3(2):e069. doi:10.1097/pq9.0000000000000069
14. Cywinski JB, Xu M, Sessler DI, Mason D, Gorman Koch C. Predictors of Prolonged Postoperative Endotracheal Intubation in Patients Undergoing Thoracotomy for Lung Resection. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2009;23(6):766-769. doi:10.1053/j.jvca.2009.03.022
15. Karalapillai D, Story D, Hart GK, et al. Postoperative hypothermia and patient outcomes after major elective non-cardiac surgery. *Anaesthesia.* 2013;68(6):605-611. doi:10.1111/anae.12129
16. Zwolińska M, Bogdan A. Impact of the medical clothing on the thermal stress of surgeons. *Appl Ergon.* 2012;43(6):1096-1104. doi:10.1016/j.apergo.2012.03.011
17. Bogdan A, Kociszewska P, Uścińowicz P. Indoor environment in patient rooms - the results of the survey. In: *Healthy Buildings Europe 2017.* ; 2017.
18. Zwolińska M, Bogdan A. Thermal sensations of surgeons during work in surgical gowns. *Int J Occup Saf Ergon.* 2013;19(3):443-453. doi:10.1080/10803548.2013.11077000
19. Bogdan A. Thermal comfort of surgeons in the operating theatre. In: *9th International Conference and Exhibition - Healthy Buildings 2009, HB 2009.* ; 2009.
20. Młynarczyk M, Bogdan A, Jankowski T. The influence of local temperature and air velocity changes on the thermal sensations of users' working in surgical clothing. *Indoor Built Environ.* Published online 2021. doi:10.1177/1420326X21990815
21. Uścińowicz P, Chludzińska M, Bogdan A. Thermal environment conditions in Polish operating rooms. *Build Environ.* 2015;94(P1):296-304. doi:10.1016/j.buildenv.2015.08.003
22. Uścińowicz P, Bogdan A. Thermal environment conditions in Polish patient rooms. In: *Healthy Buildings Europe 2017.* ;



# Komfort cieplny w szpitalach - przegląd stanu wiedzy

*Dr hab. inż. Anna Bogdan, prof. uczelni*

*Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska,  
Politechnika Warszawska*

*Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych*

**Politechnika  
Warszawska**

