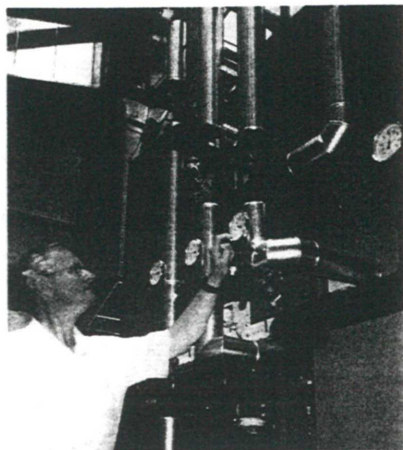


Het thermisch comfort in de operatiekamer



De werkzaamheden en het daarbij behorende metabolisme (de menselijke warmte-ontwikkeling) van de leden van het operatieteam kunnen sterk verschillen. Door het verschil in taken is het niet goed mogelijk een voor alle aanwezigen in de operatiekamer (OK) aanvaardbaar thermisch comfort te creëren. De keuze van het luchttoevoersysteem is er in eerste instantie op gericht om weinig of geen besmettingsrisico's in het wond-gebied te lopen. Het is niet altijd goed mogelijk dit te combineren met een voor ieder aanvaardbaar binnenklimaat.

- door ing. Ph.J.Ham

Comfortbeleving

Door Wyon, Lidwell en Williams werd in 1969 [1] een enquête uitgevoerd naar de temperaturen die gewenst worden door de verschillende disciplines binnen het operatieteam. In figuur 1 wordt een gedeelte van hun onderzoeksresultaten weergegeven in een grafiek, waarin is opgenomen het percentage van de te onderscheiden groepen die temperaturen tussen 16 en 26°C als comfortabel hebben beoordeeld. Het blijkt dat de meest gewaardeerde ruimtetemperatuur voor chirurgen, anesthesisten en overig personeel per groep aanzienlijk verschilt. In deze grafiek is alleen de luchttem-

peratuur als variabele beschouwd. In werkelijkheid zijn er meer fysische factoren te onderscheiden die invloed hebben op het comfortgevoel van de mens.

Thermofysiologisch model

De thermische behaaglijkheid van een mens wordt voor een groot deel bepaald door de warmtebalans van zijn lichaam als geheel. Deze warmtebalans wordt beïnvloed door zes parameters:

- lichamelijke activiteit (metabolisme);
- luchttemperatuur;
- luchtsnelheid;
- luchtvochtigheid;
- gemiddelde stralingstemperatuur;
- warmteweerstand van de kleding.

Door P.O.Fanger [2] is een thermofysiologisch model ontwikkeld dat de warmtebalans van de mens beschrijft. Wanneer de comfortparameters elk afzonderlijk zijn bepaald en in het model zijn ingevoerd, kan worden voorspeld of een gegeven klimaatsituatie binnen bepaalde grenzen als wel of niet behaaglijk zal worden ervaren. In het model van Fanger worden de volgende warmtestromen tussen de mens en zijn omgeving onderscheiden:

- stralingsuitwisseling tussen huid- of kledingoppervlak en de omgeving;
- convectieve warmteoverdracht tussen

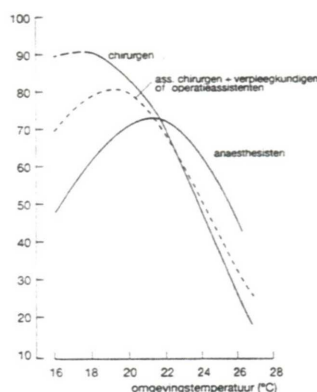
- huid- of kledingoppervlak en de lucht;
- voelbare warmteafgifte door ademhaling;
- latente warmteafgifte door ademhaling (verdampingswarmte);
- verdamping van transpiratievocht aan het huidoppervlak;
- warmteoverdracht door waterdampdiffusie door de huid.

Het metabolisme van een mens is afhankelijk van zijn lichamelijke activiteit en wordt uitgedrukt in Watt per vierkante meter huidoppervlak. Het metabolisme van een rustig zittende persoon bedraagt ongeveer 60 W/m². Het metabolisme van een actief chirurg kan oplopen tot ongeveer 100 W/m². Richtwaarden voor het metabolisme bij verschillende activiteiten worden o.a. beschreven door McIntyre [3].

- In de operatiekamer kunnen de volgende waarden worden gehanteerd:
- anesthesist (zittend) 60 W/m².
 - assisterende chirurg en operatieverpleegkundigen of -assistenten 80 W/m².
 - chirurg 100 W/m².

De warmteweerstand van de kleding wordt uitgedrukt in de eenheid 'clo'

* TNO-Bouw, afd. Binnenmilieu, Bouwfysica en Installaties, Delft



FIGUUR 1. BEOORDELING VAN DE TEMPERAATUUR IN DE OPERATIEKAMER DOOR VERSCHILLENDE DISCIPLINES (WYON, LIDWELL, E.A.).

(1 clo = 0,155 m².K/W; d.w.z. er is een warmtestroom van 1 W/m² bij een temperatuurverschil van 0,155 K. Een driedelig kostuum bijvoorbeeld heeft een warmteverstand van ongeveer 1 clo [3].

Voor het personeel in de operatiekamer kan worden uitgegaan van de volgende waarden:

- dun geweven operatiekleding met korte mouw en open hals, mondmasker en muts: clo = 0,5;
- dicht geweven operatiepak met lange mouw en gesloten hals, handschoenen, mondmasker en muts: clo = 1,1; volgens Danckert e.a. [4] wordt met deze kleding de afgifte van bacteriedragende deeltjes het meest effectief gereduceerd;
- operatiekleding met afgezogen gelaatsmasker of afgezogen pak. Hierbij moet men bedenken dat de gemeten omgevingsparameters in de ruimte niet meer geheel bepalend zullen zijn voor het comfort van het operatieteam. In dat geval kan de beoordeling niet meer worden gebaseerd op de criteria volgens Fanger.

Een groot aantal proefpersonen werd door Fanger in een kantoor situatie onderworpen aan verschillende klimaatcondities die moesten worden

PMV	waardering
-3	koud
-2	koel
-1	fris (enigszins koel)
0	neutraal
+1	enigszins warm
+2	warm
+3	heet

TABEL 1. PSYCHOFYSISCHE WAARDERINGSSCHAAL VAN HET THERMISCH BINNENKLIMAAT VOLGENS DE PMV-INDEX

beoordeeld volgens een 7-puntsschaal (zie tabel 1).

Bij een beoordeling van -1 tot +1 werd de uitkomst als tevreden en bij hogere of lagere beoordeling als ontevreden gerangschikt. Door statistische bewerking werd vervolgens het verband bepaald tussen het te verwachten aantal ontevreden (Predicted Percentage Dissatisfied PPD) en het

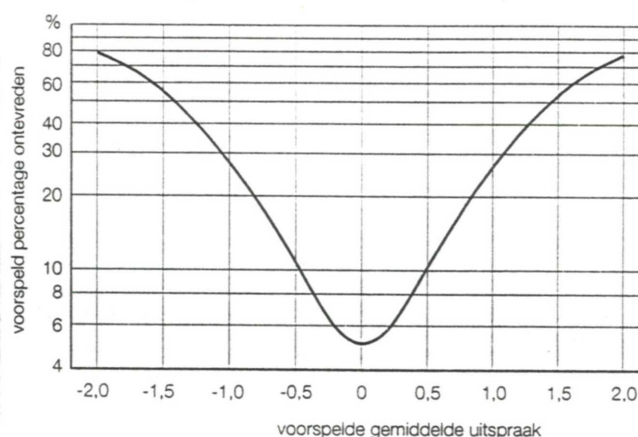
gemiddelde oordeel (Predicted Mean Value PMV).

Op deze wijze voorspelt het model van Fanger wat het gemiddelde oordeel van een groep personen zal zijn bij gegeven omgevingsparameters. Het verband tussen PMV en PPD is weergegeven in figuur 2. Hierin is te zien dat ook wanneer de gemiddelde beoordeling neutraal is (PMV=0), er toch nog 5% ontevreden te verwachten zijn.

situatie op doordat de luchtstroming omlaag is gericht hetgeen niet overeenkomt met de door Fanger onderzochte kantoor situatie.

Door E.Mayer [6] is onderzoek gedaan naar de behaaglijkheid onder invloed van de aanstroomrichting van de lucht langs het gezicht.

In figuur 3 is aangegeven dat 10 tot 30% van de onderzochte personen tocht klachten heeft, respectievelijk



FIGUUR 2. VOORSPELD PERCENTAGE ONTEVREDENEN (PPD) ALS FUNCTIE VAN DE VOORSPELDE GEMIDDELDE UITSPRAAK (PMV) IN EEN KANTOORSITUATIE VOLGENS FANGER

Het model van Fanger is inmiddels vastgelegd in een ISO-norm (ISO-7730 [5]), waarin een PMV tussen +0,5 en -0,5 als ontwerp richtlijn wordt aanbevolen. In deze situatie zal 10% van de personen ontevreden zijn over het binnenklimaat. Door verschil in kleding en activiteitsniveau in dezelfde ruimte kunnen nog grotere verschillen ontstaan.

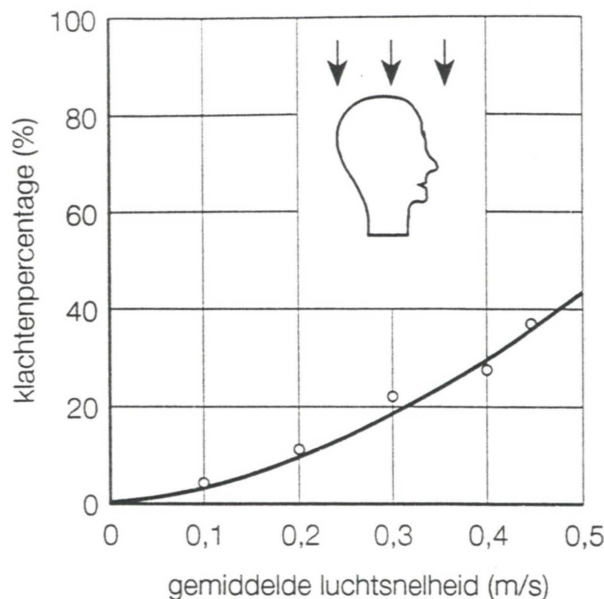
Invloed van verticaal omlaag gerichte luchttoevoer (down-flow)

De klimaatbeoordelingen volgens Fanger zijn gebaseerd op experimenten met 1300 proefpersonen in een kantoor situatie. Toepassing van de uitgangspunten volgens Fanger op het operatiepersoneel kan mogelijk tot afwijkende klimaatbelevingen leiden omdat de omstandigheden niet geheel vergelijkbaar zijn met een kantoor situatie. Vooral wanneer een omlaag gericht verdringingssysteem (down-flowsysteem) in de operatiekamer wordt toegepast treedt een afwijkende

bij verticaal omlaag gerichte luchtsnelheden van 0,2 en 0,4 m/s en een luchttemperatuur van 23 °C.

De warmteoverdrachtscoëfficiënt van het huidoppervlak dat loodrecht op de stromingsrichting is gericht, blijkt aanmerkelijk hoger te zijn dan bij langsstroming. Bij dit onderzoek werd door de proefpersonen een trainingspak gedragen waarbij de schouder geheel bedekt bleef. Bij de operatiekleding treft men nogal eens vrij grote halsopeningen aan waardoor een gedeelte van de schouder onbedekt blijft. Bij down-flow kan dit snel tot extra klachten leiden, vooral wanneer de inblaasttemperatuur lager is dan de door Mayer beschouwde waarde van 23 °C.

De chirurg zal uit hygiënische overwegingen echter andere kleding dragen die vaak dichter is geweven en voorzien is van een dichte kraag en muts; bovendien worden handschoenen gedragen. De conclusie van



FIGUUR 3. PERCENTAGE KLACHTEN ALS FUNCTIE VAN DE LUCHTSNELHEID BIJ ZITTENDE PROEFPERSONEN MET EEN TRAININGSPAK BIJ VERTICAAL OMLAAG GERICHTE LUCHTBEWEGING MET EEN TURBULENTIEGRAAD VAN MINDER DAN 5% EN BIJ EEN RUIMTETEMPERAATUUR VAN 23 °C.

Mayer is daarom niet direct toepasbaar op het gehele operatiepersoneel maar geeft toch aan dat de keuze van kleding mede van belang is bij het werken in een down-flowsysteem.

Stabiliteit van de inblaasluichttemperatuur bij down-flow

Een probleem dat bij down-flowsystemen kan ontstaan is een te groot verschil tussen de temperatuur van de toegevoerde lucht en de in de ruimte heersende luchttemperatuur. Door dichtheidsverschillen van de beide luchtkolommen is het mogelijk dat er insnoering van de toegevoerde lucht plaatsvindt hetgeen gepaard gaat met een toenemende luchtsnelheid in het operatiegebied waardoor tochtklachten kunnen ontstaan. Uit de praktijk is gebleken dat insnoering te verwachten valt bij een temperatuurverschil tussen de ruimtelucht en de toevoerlucht van >2 K.

Een goede afstemming van het toegevoerde luchtdebiet en de te verwachten warmtebelasting in de operatiekamer dient daarom plaats te vinden. In dit verband wordt nog gewezen op de extra warmtebelasting die kan ontstaan t.g.v. zoninstraling bij toepassing van ramen in de OK. Een goede buitenzonwering is daarom een vereiste.

Het verdient aanbeveling eventueel aanwezige apparatuur met grote warmteproductie zo mogelijk buiten de operatiekamer te plaatsen en anders zodanig dat de warmte direct via één der laag geplaatste afvoerroosters kan worden afgevoerd.

Een te groot temperatuurverschil kan ook (tijdelijk) ontstaan nadat de instelling voor de gewenste temperatuur in de operatiekamer is verlaagd of wanneer het regelsysteem niet stabiel werkt.

Plotselinge temperatuurstoename van de inblaasluicht tot boven de ruimtemtemperatuur is helemaal ongewenst omdat de toevoerlucht dan niet meer omlaag maar langs het plafond zal willen wegstromen; het down-floweffect gaat dan grotendeels verloren hetgeen het contaminatierisico aanzienlijk vergroot.

Uit het bovenstaande kan worden afgeleid dat het ongewenst is dat het verplegend personeel zelf regelend kan optreden t.a.v. het verloop van de inblaasstemperatuur, tenzij de maatregel is genomen dat slechts een zeer geleidelijke verstelling mogelijk is.

Omdat het operatiepersoneel zich voor het merendeel direct in het

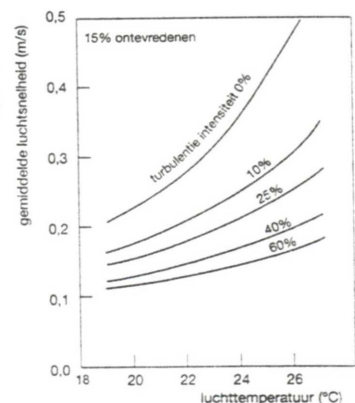
down-flowgebied bevindt is de inblaasstemperatuur voor hen eerder bepalend voor het thermisch comfort dan de gemiddelde ruimtemtemperatuur. Het verdient derhalve aanbeveling de klimaatcondities niet te regelen naar de gewenste ruimtemtemperatuur maar direct op de inblaasstemperatuur. De snelwerkende regelkring die hiermee wordt verkregen kan zeer stabiel zijn zodat geen ongewenste temperatuurfluctuaties te verwachten zijn.

Invloed van de turbulentiegraad

Wanneer de luchtsnelheid in een vertrek als functie van de tijd wordt geregistreerd, blijkt deze te fluctueren. De fluctuaties kunnen volgens een statistische benadering worden gekarakteriseerd door een gemiddelde waarde en een standaardafwijking. Als maat voor de optredende fluctuaties wordt de 'turbulentiegraad Tu ' gehanteerd die is gedefinieerd als het procentuele quotiënt van de standaardafwijking en de gemiddelde waarde.

Door Fanger [5] is tevens onderzoek gedaan naar de invloed van de turbulentiegraad van de bewegende lucht op het comfort. Ook hiervan is een behaaglijkheidsmodel afgeleid. Uitgaande van een aanvaardbaar percentage ontevreden van 15% is in figuur 4 aangegeven welke gemiddelde luchtsnelheid nog acceptabel is bij gegeven temperatuur en turbulentiegraad. Hieruit blijkt dat verlaging van de turbulentiegraad tot vermindering van klachten zal leiden.

Er kan dus worden geconcludeerd dat



FIGUUR 4. TOELAATBARE GEMIDDELTE LUCHTSNELHEID ALS FUNCTIE VAN DE LUCHT-TEMPERATUUR EN DE TURBULENTIEGRAAD, WAARBIJ HET PERCENTAGE ONTEVREDENEN 15% ZAL BEDRAGEN.

bij een down-flowsysteem met turbulente-arme of praktisch laminaire stroming ($Tu \approx 0$) minder snel tochtklachten zijn te verwachten dan bij een down-flowsysteem met eenzelfde gemiddelde snelheid maar met turbulente stroming.

Invloed van de operatielamp

Door Fanger is eveneens onderzoek verricht naar het effect van asymmetrische stralingsbelasting (zowel horizontaal als verticaal) [7], waaruit is gebleken dat de mens zeer gevoelig is voor warmtestraling op het hoofd. Een verschil van 4 K stralingstemperatuur tussen boven en onder wordt reeds door 5 % van de proefpersonen als onbehaaglijk beoordeeld. Dit aspect kan in de operatiekamer van belang zijn wanneer men bedenkt dat de chirurg vaak met het hoofd direct onder de operatielamp staat en daardoor een asymmetrische stralingsbelasting ondervindt die door de overige leden van het operatieteam niet of minder wordt ervaren. Ten gevolge hiervan ondervindt de chirurg, die toch al een hoger activiteiten- en kledingniveau heeft, ook nog een hogere gemiddelde stralingstemperatuur. Daarbij komt nog dat dit bij toepassing van een omlaag gericht verdringingssysteem (down-flowsysteem) tevens gepaard gaat met een lagere luchtsnelheid direct onder en een toenemende luchtsnelheid naast de lamp. De vorm en de stand van de lamp hebben een sterke invloed op dit verschijnsel.

Hiermee is mede te verklaren dat de

chirurg vaak een lagere ruimtetemperatuur verlangt dan de overige aanwezigen, waardoor de chirurg zich weliswaar behaaglijk voelt maar waardoor het overige operatiepersoneel en met name de anesthesist het te koel vindt. In het model van Fanger kan dit aspect bij benadering worden beoordeeld door het hanteren van een hogere gemiddelde stralingstemperatuur en een lagere luchtsnelheid. In tabel 2 zijn als voorbeeld enkele berekeningen voor het operatiepersoneel bij toepassing van een down-flowsysteem weergegeven.

Conclusies

- Vooral de kledingweerstand en het activiteitsniveau spelen een belangrijke rol in de gewaarwording van het thermisch comfort.
 - Het verschil in comfortbeleving tussen de verschillende disciplines in de operatiekamer is (zoals uit figuur 1 blijkt) daarmee te verklaren.
 - Aangezien het voor de chirurg i.v.m. de hygiëne niet mogelijk is zich lichter te kleden resteert als alternatief voor de anesthesist om zich warmer te kleden.
- Intussen vindt bij TNO-Bouw de ontwikkeling plaats van een systeem waarbij een hogere temperatuur wordt bewerkstelligd in het gebied waarin de anesthesist verblijft.

Literatuur

- [1] Wyon, D.P., O.M. Lidwell en R.E.O. Williams, *Thermal comfort during surgical operations* 1969;

Journal of the Institution of Heating and Ventilation Engineers (J.I.H.V.E.) Vol.37, p.150-158,168.

[2] Fanger, P.O., *Thermal Comfort*, McGraw-Hill Book Company, New York, United States, 1970.

[3] McIntyre, D.A., *Indoor Climate*, London, 1980.

[4] Danckert, J., J.B. Zijlstra en H. Lubberding; *Operatiekleding en de afgifte van bacteriën*; Studie bij de afdeling ziekenhuisepidemiologie van het Academisch Ziekenhuis Groningen in samenwerking met het laboratorium voor medische microbiologie van de Rijksuniversiteit Groningen (ca 1980).

[5] *Moderate thermal environment. Determination of PMV and PPD indices and specifications of the conditions of thermal comfort*; International Organisation of Standardisation, ISO 7730, 1984, Geneva. Switzerland.

[6] Mayer, E., *Zugluftuntersuchungen bei Reinraumbedingungen* VDI-berichte Nr. 634, 1987, VDI, Holzkirchen, Duitsland.

[7] Fanger, P.O. e.a.; *Comfort limits for Asymmetric Thermal Radiation*; Energy and Buildings, 1985 / 8, 225-236.

	metabolisme (W/m ²)	luchtsnelheid (m/s)	rel.vochtigheid (%)	luchttemp. (°C)	gem.stralingstemp. (°C)	clo-waarde (-)	PMV (-)	PPD (%)
chirurg	100	0,1	55	20	24	1,1	+0,8	18,7
operatie-assistent(e)	80	0,3	55	20	20	1,1	-0,1	5,4
verpleegkundige	80	0,3	55	20	20	0,5	-1,4	48
anesthesist	60	0,3	55	20	20	0,5	-2,9	98

TABEL 2. TE VERWACHTEN COMFORTBEOORDELINGEN DOOR VERSCHILLENDE LEDEN VAN HET OPERATIETEAM BIJ TOEPASSING VAN EEN DOWN-FLOWSYSTEEM IN DE OPERATIEKAMER