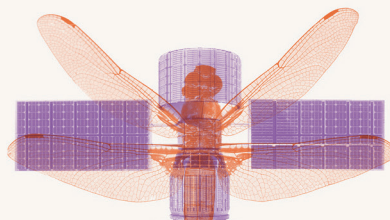
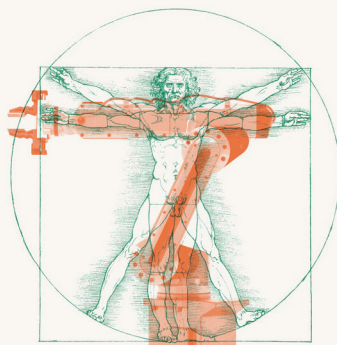
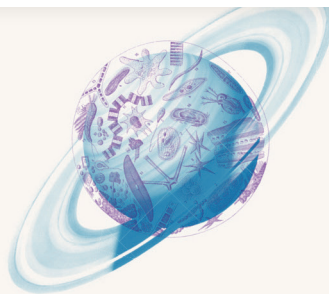
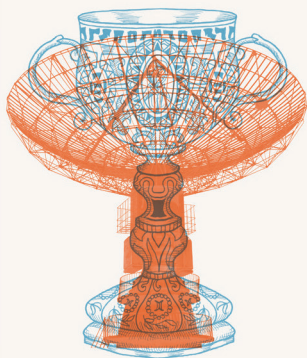
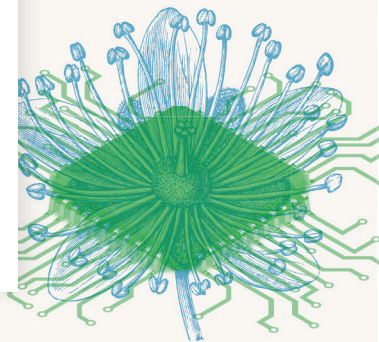


Van onderkoeling naar oververhitting

prof.dr. H.A.M. Daanen

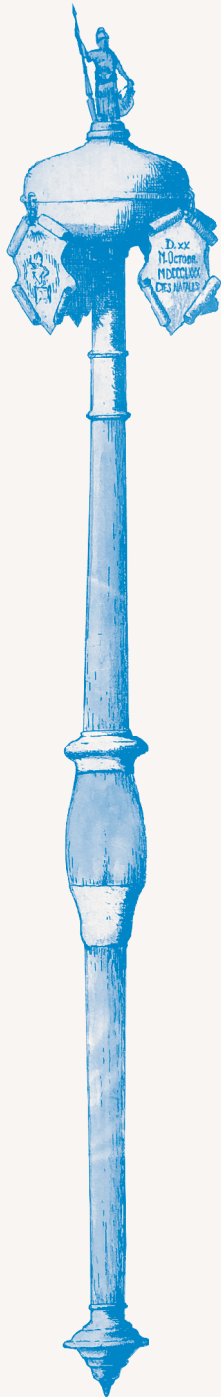


Prof. Dr. H.A.M. (Hein) Daanen



Hein Daanen (1958) studeerde bewegingswetenschappen met specialisatie inspanningsfysiologie aan de Vrije Universiteit (VU) in Amsterdam. Na zijn afstuderen werkte hij vier jaar als onderzoeker op het gebied van elektromyografie aan het Leids Universitair Medisch Centrum en één jaar in het Instituut voor Revalidatievraagstukken in Hoensbroek. In 1990 trad hij in dienst van TNO, waar hij managementtaken combineerde met onderzoek in thermofysiologie en ergonomie. In 1995-1996 voerde hij onderzoeksprojecten uit bij defensielaboratoria in Canada (Defence and Civil Institute of Environmental Medicine) naar koude en de Verenigde Staten (Wright-Patterson Air Force Base) naar antropometrie. In 1997 promoveerde hij bij de Faculteit der Geneeskunde van de VU op het proefschrift getiteld 'Central and peripheral control of finger bloodflow in the cold'. Van 1999 tot 2002 was hij voorzitter van de Nederlandse Vereniging voor Ergonomie (nu Human Factors NL). In 2003 werd Daanen benoemd tot bijzonder hoogleraar aan de VU, en in 2016 tot gewoon hoogleraar. Zijn expertise in productmaatvoering leidde in 2010 tot de oprichting van het bedrijf Sizing Science, waarmee hij in 2021 de NATO HFM Panel Excellence Award ontving voor werk aan kledingmaatvoering. Hij werkte als lector bij het Amsterdam Fashion Institute van 2013-2016 en zette daar onderzoek op naar virtueel passen en slimme kleding. Bij de VU richtte zijn onderzoek zich voornamelijk op thermofysiologische aanpassingen van de mens aan hitte en kou. Hij heeft bijgedragen aan kennis over de optimale thermische voorbereiding van Nederlandse atleten op de hitte van de Olympische Spelen in Tokio en recent onderzoek betreft het aanpassingsvermogen van ouderen en baby's aan warmte. Van 2016-2023 was Hein directeur van de masteropleiding 'Human Movement Sciences' bij de VU.

Een volledig CV met publicatielijst is te vinden op www.heindaanen.nl.



prof.dr. H.A.M. Daanen

van onderkoeling naar oververhitting

Rede uitgesproken bij het afscheid als hoogleraar
Inspanningsfysiologie aan de Faculteit der Gedrags- en
Bewegingswetenschappen van de Vrije Universiteit
Amsterdam op vrijdag 10 oktober 2025.



Inhoud

Inleiding	2
Klimaatverandering.....	3
Internationale conflicten en klimaat.....	3
Wat kan een mens aan?.....	4
Temperatuurgerelateerde sterfte	5
Koude.....	9
Onderkoeling	9
Koude vingers.....	10
Acclimatisatie	12
Kleding.....	12
Forensisch onderzoek	14
Chemotherapie	15
Hitte	16
Inspanning	16
Acclimatisatie	17
De-acclimatisatie en re-acclimatisatie.....	19
Kleding.....	20
Vloeistofkoeling	20
Luchtkoeling.....	21
Phase change materials (PCM)	21
Toekomstig onderzoek	22
Dankwoord	23
Referenties	24

Inleiding

Dit boekje is geschreven ter gelegenheid van het afscheidscollege van Hein Daanen op 10 oktober 2025. Het geeft een bondig overzicht van het thermofysiologisch onderzoeksgebied waar sinds 1990 aan is gewerkt. Het eerste onderzoek ging over opwarming van onderkoelden, terwijl de laatste jaren vooral de effecten van hitte op de mens centraal stonden; vandaar de titel 'van onderkoeling naar oververhitting'. Het reflecteert ook de historische verschuiving van kou naar hitte.

Ongeveer 40 duizend jaar geleden, toen de moderne mens naar Europa kwam, was de gemiddelde temperatuur op aarde 5°C lager dan het gemiddelde van 1000 jaar voorafgaand aan de industriële revolutie (Fischer et al., 2018). Dat moet de mens voor uitdagingen hebben geplaatst om niet onderkoeld te raken. De laatste decennia is er een ongekend snelle stijging van meer dan 1°C in de gemiddelde temperatuur op aarde, en met een toenemend aantal hittegolven. De mens moet nu oververhitting zien te vermijden.

De recente klimaatverandering gaat gepaard met een toename van internationale conflicten. In het eerste hoofdstuk wordt ingegaan op klimaatverandering en de relatie met conflicten. Door klimaatverandering worden sommige plekken in de wereld onleefbaar, wat kan leiden tot migratiestromen. Bij hoge temperaturen in combinatie met hoge luchtvochtigheid kan de mens zijn warmte niet meer kwijt. Echter, enig aanpassingsvermogen aan klimaatverandering is zichtbaar uit de sterftestatistieken. De kans op toekomstige conflicten neemt toe in koude streken (onder andere door de aanwezigheid van fossiele grondstoffen) en warme streken (onder andere door strijd voor water en voedsel). In de kou (hoofdstuk 2) moet de mens strijden tegen onderkoelingsrisico en lokaal koudeletsel; in de hitte (hoofdstuk 3) tegen het risico op hitteberoerte. Naast deze gezondheidsbedreigingen, daalt de prestatie in kou en hitte, en is het zaak na te gaan hoe dit prestatieverlies kan worden beperkt. In de kou lijkt gedragsverandering, waaronder aanpassing van kleding, de enige mogelijkheid omdat fysiologische aanpassingen gering zijn; in de hitte is het aanpassingsvermogen van de mens groot. In dit boekje worden de ontwikkelingen geschetst en gekoppeld aan het onderzoek dat ik met mijn collega's op dit gebied heb uitgevoerd. Ik vraag om enige clementie met het grote aantal zelfcitaties in dit boekje, dat is moeilijk te vermijden bij een overzicht van eigen onderzoek.

Klimaatverandering

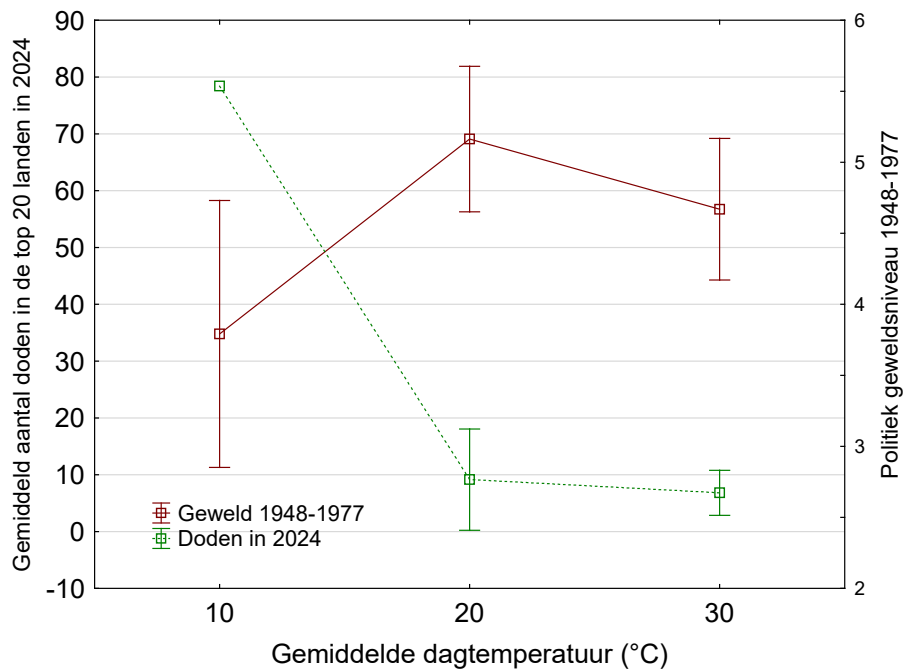
Het wereldklimaat is de laatste decennia aan sterke veranderingen onderhevig. In 1988 is het IPCC (International Panel on Climate Change) opgericht om beleidsmakers regelmatig van wetenschappelijke beoordelingen over klimaatverandering, de gevolgen ervan en potentiële toekomstige risico's te voorzien, evenals om aanpassings- en mitigatiemogelijkheden aan te reiken. Een van de belangrijke onderdelen van klimaatverandering is de stijging van de temperatuur op aarde. Volgens het IPCC is de wereldgemiddelde temperatuur over de periode 1907-2020 met circa 1,1 °C gestegen. Dat lijkt weinig, maar kan grote effecten hebben op de mens en zijn leefomgeving. De jaargemiddelde temperatuur in Nederland is sinds 1907 met 2,3 °C toegenomen¹. Om deze ongeremde stijging tegen te gaan is het akkoord van Parijs in 2015 door 159 lidstaten van de Verenigde Naties ondertekend. De doelstelling van het akkoord is mitigatiemaatregelen nemen om de opwarming van de aarde te beperken tot ruim onder 2 °C, maar bij voorkeur tot maximaal 1,5 °C. Het is onzeker of deze doelstellingen gehaald kunnen worden (Romanello et al., 2024).

Internationale conflicten en klimaat

Het klimaat heeft effect op het gedrag en temperament van de mens. De agressie neemt toe bij hoge temperaturen (Anderson, 1989) en een recent onderzoek laat zien dat het gedrag op sociale media boven een omgevingstemperatuur van 35°C negatief van toon wordt (Wang et al.). Ook internationale conflicten lijken aan klimaat gelieerd. Politieke rellen en gewapende aanvallen kwamen in de jaren 1948-1977 vaker voor in warme landen dan in hete of koude landen (Van De Vliert et al., 1999). De verklaring die zij aandroegen was dat mannelijke gedrag gekoppeld is aan agressie en dat dit gedrag het meest voorkomt in een gematigd warm klimaat. Een theorie is ook dat in thermische extremen, mensen meer aandacht hebben voor overleven en daardoor minder voor agressie naar anderen.

Als we de huidige conflicthaarden in de wereld bezien, treffen we een heel andere situatie aan (Fig.1). Het aantal doden in Ukraine en Rusland is hoog, en deze landen worden als koud geclassificeerd (zie ook <https://www.worldeconomics.com/Indicator-Data/ESG/Environment/Temperatures/>). Omdat 1/3 van de wereldgasreserves zich binnen de noordpoolcirkel bevindt en omdat de Noordelijke vaarroute steeds beter begaanbaar is, wordt een land als Groenland strategisch steeds meer van belang. Koude gebieden zijn geopolitiek van steeds groter belang.

¹ <https://www.clo.nl/indicatoren/nl022615-temperatuur-in-nederland-en-mondiaal-1907-2022>



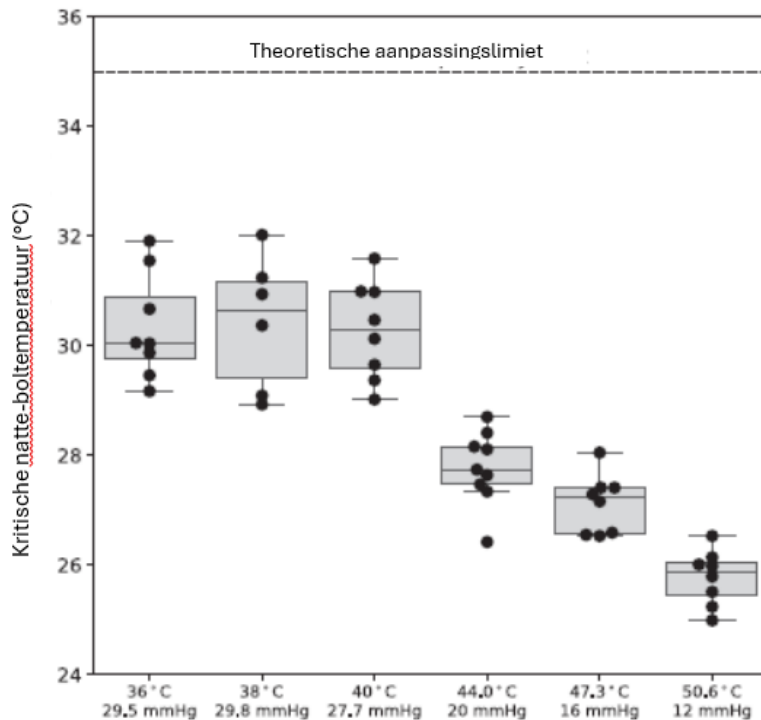
Figuur 1 – Gegevens van politiek geweld in 1948-1977 (Van De Vliert et al., 1999) vergeleken met het aantal doden in militaire conflicten in 2024 voor de top 20 landen (https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_ongoing_armed_conflicts).

Wat kan een mens aan?

In extreem warme landen wordt het steeds moeilijker voor mensen om te overleven. Dit komt niet alleen door droogte en mislukte oogsten, maar ook door de temperatuur zelf. In 2010 gaven onderzoekers aan dat ze verwachten dat bij een natte-boltemperatuur² hoger dan 35°C menselijk leven niet mogelijk zou zijn (Sherwood & Huber, 2010). Zij berekenden dat bij een stijging van de gemiddelde temperatuur op aarde van 7 graden, de aarde op veel plekken zoals India en Pakistan, onleefbaar zou worden. Door gezamenlijke inspanningen van onderzoekers in de US, Canada, Nederland en Australië wordt het steeds duidelijker dat al bij veel lagere natte-boltemperaturen de mens zijn lichaamstemperatuur niet meer constant kan houden (Fig. 2). In een droog heet klimaat zoals een woestijn kan een mens al bij een natte-boltemperatuur van 26°C zijn lichaamstemperatuur niet meer constant houden. We kunnen verwachten dat bij stijging van de temperatuur tot boven deze kritische waarden, de mens niet langer in staat zal zijn om zonder koelhulpmiddelen te overleven. Het is waarschijnlijk dat er daardoor

² Dit is de temperatuur gemeten met een thermometer waarom een nat katoenen kousje is gewikkeld. De waarde is een indicatie van de omgevingstemperatuur én het verdampingsvermogen van vocht.

vluchtelingenstromen op gang komen naar koelere gebieden. In de TV serie 'Missie Middendorp' van Omroep WNL bezocht oud-Commandant der Strijdkrachten Tom Middendorp conflictgebieden en concludeerde aan dat onze veiligheid direct samenhangt met klimaatverandering. Hij legde de link tussen radicalisering in Irak en droogte daar, en beschreef dat piraterij in Somalië voortkwam uit het wegvallen van visserijmogelijkheden door klimaatverandering.



Figuur 2 Kritische natte-boltemperaturen (waarboven mensen hun lichaamstemperatuur niet meer constant kunnen houden) bij diverse thermische omstandigheden (Vecellio et al., 2022).

Temperatuurgerelateerde sterfte

In Nederland gaan meer mensen dood als het warmer is of kouder is dan de zogenaamde MMT (minimale mortaliteitstemperatuur) (Fig. 3), die in Nederland rond de 16-17 graden lag in de periode 1995-2018. Mede omdat het aantal dagen lager dan de MMT in Nederland groter is dan het aantal dagen boven de MMT, is de koudegerelateerde sterfte ongeveer 9 keer hoger dan de warmtegerelateerde sterfte. In Fig. 4 is dit mooi zichtbaar omdat de sterfte in de wintermaanden veel hoger is dan die in de zomermaanden. In de media wordt voornamelijk melding gemaakt van sterfte tijdens hittegolven, niet zozeer tijdens koude periodes. Mogelijk heeft dit te maken met het gegeven dat de sterfte na een hittepiek slechts 2 à 3 dagen verhoogd

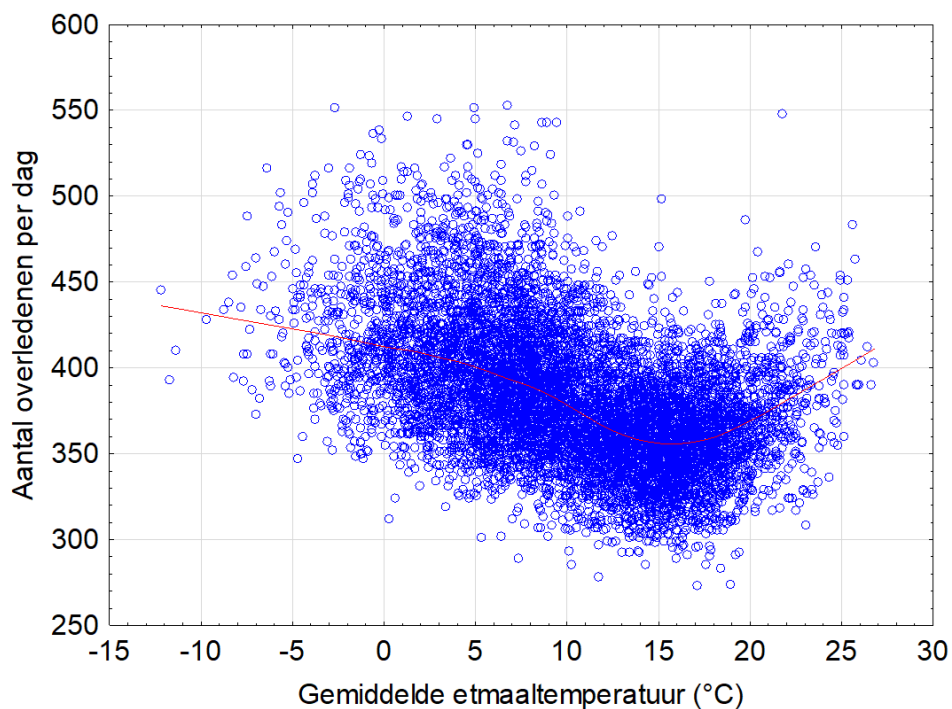
is, en daarmee goed zichtbaar, ten opzichte van de koudegerelateerde sterfte die na 2 weken nog goed zichtbaar is.

Door opwarming van de aarde verschuift de MMT naar hogere waarden (Folkerts et al., 2020; Todd & Valleron, 2015) en er zijn indicaties dat de toename van sterfte met stijgende temperatuur door klimaatverandering wat afzwakt (Folkerts et al., 2020). Dit werd recentelijk ook door RIVM vastgesteld (Klompmaaker & Hagens, 2025). Tijdens een warme dag met een etmaaltemperatuur van bijvoorbeeld 25°C is de relatieve sterfte nu dus minder dan enkele decennia geleden, maar omdat door klimaatverandering er meer warme dagen komen, neemt de absolute sterfte toe. De koudegerelateerde sterfte daalt zowel relatief als absoluut bij een etmaaltemperatuur van bijvoorbeeld 5°C (aannemende dat de populatie niet sterk toeneemt). Het netto resultaat is helaas dat met de klimaatverandering de klimaatgerelateerde sterfte toeneemt (Masselot et al., 2025); een belangrijke impuls om serieus te proberen de opwarming van de aarde te beperken.

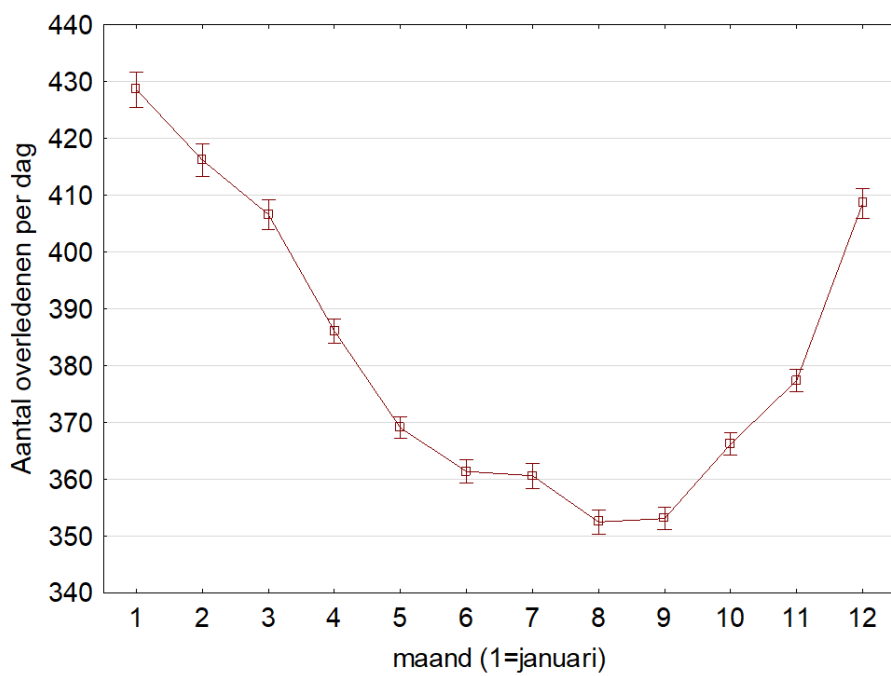
Het gebruik van MMT als scheidslijn tussen hitte en koude wordt in de epidemiologische literatuur standaard gebruikt. Er zitten echter geografische en temporele nadelen aan deze heldere scheidslijn. Geografisch verschilt de MMT sterk. In Bangkok is deze 26°C en in Nederland 17°C. Dat betekent dat iemand die bij 20°C omgevingstemperatuur sterft in Bangkok als koudesterfgeval wordt gezien en in Nederland als hittesterfgeval. Nog lastiger wordt het in tijd: omdat de MMT stijgt is iemand die nu overlijdt bij 18°C in Nederland een hittesterfgeval en over enkele jaren als de MMT is gestegen, een koudesterfgeval. Dat klopt niet met onze intuïtie. Het zou interessant zijn de wereldwijde analyses over hitte- en koudegerelateerde sterfte uit een humaan perspectief van afwijking van de thermoneutrale zone te bezien (zie bijvoorbeeld Kingma et al. (2014) voor een beschrijving van de thermoneutrale zone). Voor zover bekend, is dat nog niet gedaan.

Vrouwen zijn het meest kwetsbaar voor hitte-gerelateerde sterfte (Folkerts et al., 2022), mogelijk omdat ze minder zweten dan mannen (Daanen & Herweijer, 2015). Aan de andere kant zijn er indicaties dat mannen wellicht overbodig veel zweten (Daanen et al., 2024).

Samenvattend zien we een sterke relatie tussen omgevingstemperatuur en de kans op overlijden waarbij locatie in de wereld, klimaatverandering, leeftijd en geslacht belangrijke factoren zijn.



Figuur 3 Relatie tussen aantal overledenen per dag (verticale as) en de gemiddelde etmaaltemperatuur in °C (horizontale as) voor de periode 1995-2018, waarbij elk symbool een dag betreft. Het betreft alle sterfte van Nederlandse ingezetenen; het punt rechtsboven betreft de dag dat de MH19 werd neergeschoten.



Figuur 4 Aantal overledenen per maand over de periode 1995-2018 met het 95% betrouwbaarheidsinterval.

Koude

Onderkoeling

Als een mens meer warmte afgeeft dan produceert, daalt de lichaamstemperatuur. Wanneer deze temperatuur in de kern van het lichaam (hersenen, ingewanden) daalt tot onder 35°C, wordt van onderkoeling gesproken. Bij een kerntemperatuur van rond 33°C vinden we het verschijnsel paradoxaal ontkleden. Er treedt een gevoel van warmte op, waardoor mensen zich zelfs kunnen gaan ontkleden. Tabel 1 geeft een overzicht van hoe vaak dit voor komt. Vaak genoeg om de politie erop te attenderen dat een deels ontkleed slachtoffer in de kou vaak geen slachtoffer is van een seksueel delict, maar van het verschijnsel paradoxaal ontkleden.

Tabel 1 – Overzicht van artikelen met aantal onderkoelden en percentage van slachtoffers met paradoxaal ontkleden.

Auteurs	Onderkoeling	Paradoxaal ontkleed (%)
(Brändström et al., 2012)	207	30
(Lim & Duflou, 2008)	24	29
(Oosterhelweg et al., 2003)	68	69
(Mizukami et al., 1999)	164	21
(Shimizu et al., 1996)	36	31
(Rothschild & Schneider, 1995)	69	25
(Sivaloganathan, 1986)	20	70
(Albiin & Eriksson, 1984)	51	50
Totaal	639	34

Na het onderkoelingsdrama rondom het Dance Valley festival in 2001³, ontstonden er zorgen rondom mogelijke onderkoeling van de genodigden bij het huwelijk van kroonprins Alexander en Maxima op 2 februari 2002 in de Amsterdam Arena. Bij TNO kregen we de mogelijkheid om op een rij te zetten welke mogelijkheden effectief waren en er werd zelfs een kledingadvies op elk kaartje gedrukt (Daanen et al., 2002). Op het feestmoment zelf was sprake van een relatief warme dag, zodat problemen zich niet voordeden, los van klachten van mensen die te veel aan kleding en warme bontjassen hadden meegenomen.

Een uitdaging is om onderkoelden weer effectief op te warmen. Immers, tijdens opwarmen daalt de lichaamstemperatuur nog een tijdje door (afterdrop). Dit komt door een combinatie

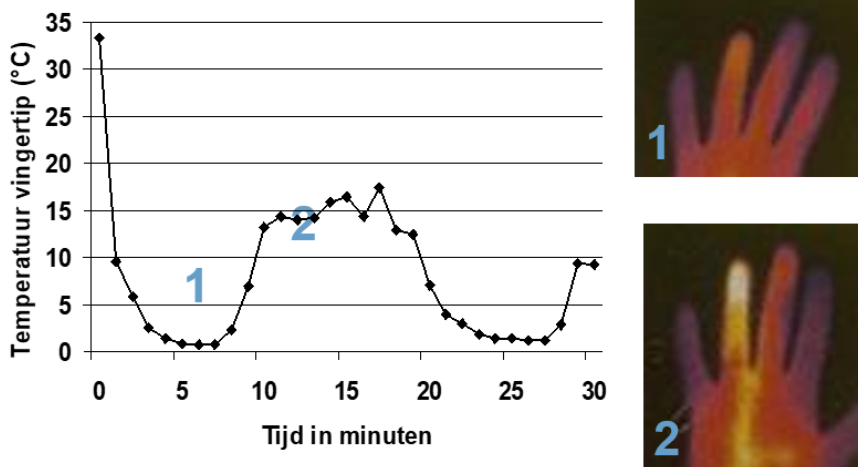
³https://www.digibron.nl/viewer/collectie/Digibron/id/tag:RD.nL,20010806:newsml_2919e08e99f4bab5100b0ea0f6881228

van thermische inertie en omdat het relatief koude bloed uit de extremiteiten weer in de circulatie komt. Bij ernstig onderkoelden kan men gebruik maken van extra-corporele circulatie (Gilbert et al., 2000), maar goede opwarmingsmethoden in het veld staan nog te discussie. Onderzoek liet zien dat opwarming in een heet bad weliswaar snel gaat voor mild onderkoelden, maar toch een afterdrop kent, terwijl opwarmen door rillen in dekens weinig afterdrop maar wel veel discomfort opleverde (Daanen & Van de Linde, 1992). Ook in een recente review werd het belang van opwarming in het veld door rillen benadrukt (Haverkamp et al., 2018).

Koude vingers

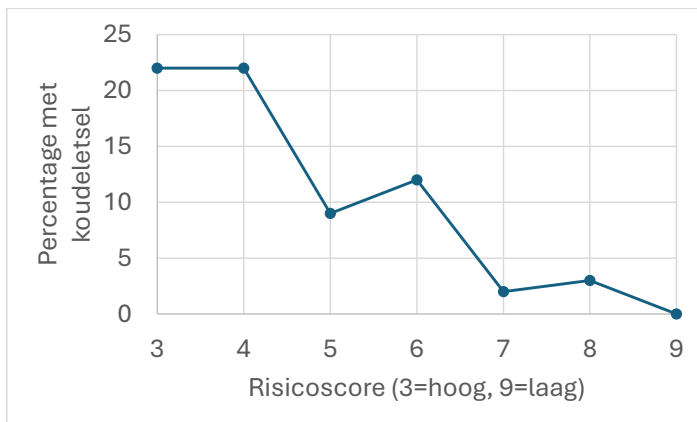
In een koude omgeving probeert de mens zijn lichaamskern zo veel mogelijk in de buurt van 37°C te houden. Dit gebeurt vooral door vasoconstrictie in de huid en weefsels van armen en benen. Het warm houden van de kern gaat ten koste van de temperatuur van de extremiteiten. Als de temperatuur van de vingers onder de 14°C daalt, zie je een sterke afname van de handvaardigheid (Daanen, 2009b).

Als het weefsel in de vingertoppen en tenen te koud wordt, verwijden bloedvaten ter plekke (vasodilatatie) zodat warm bloed enige verlichting kan geven. Deze reactie wordt cold-induced vasodilation (CIVD) genoemd en de zogenaamde arterio-veneuze anastomosen (AVAs) zijn de bloedvaten die de hoofdrol spelen (Daanen, 1997, 2009a). Deze AVAs zijn bloedvaten met een diameter die 10 keer zo groot is als die van een haarvat en dus veel warm bloed kunnen vervoeren (Daanen, 1991; Walløe, 2016). De CIVD reactie stuurt pulserend warm bloed naar de vingertoppen en tenen (Fig. 5).



Figuur 5 Temperatuur van de tip van de vinger tijdens onderdompeling in ijswater in °C. De warmtebeeldopname van een persoon rechtsboven laat de vingers zien zonder cold-induced vasodilation (CIVD) (moment 1). De warmtebeeldopname van dezelfde persoon rechtsonder toont CIVD in de ringvinger (moment 2). De gele kleur geeft aan dat de temperatuur hoger is.

Cold-induced vasodilation wordt gezien als een manier om koudeletsel van de vingers te voorkomen. Inderdaad bleek uit een onderzoek bij 167 militairen dat degenen die een slechte CIVD-reactie (een score van 3 of 4) hadden voorafgaand aan uitzending naar Noorwegen vaker koudeletsel opliepen dan militairen met een goede CIVD reactie (score 8 of 9) (Fig. 6) (Daanen & Van Der Struijs, 2005). Een eenvoudige test met onderdompeling van 1 vinger in ijswater gedurende 30 minuten kan dus een indicatie geven van het koudeletselrisico op basis van een goede of slechte CIVD respons.



Figuur 6 Percentage militairen dat met koudeletsel werd geconfronteerd tijdens uitzending naar Noorwegen, gerelateerd aan de risicoscore die werd bepaald door de Cold-Induced Vasodilation (CIVD) reactie te meten bij 179 militairen voorafgaand aan uitzending (Daanen & Van Der Struijs, 2005).

De CIVD reactie werkt het best als het lichaam warm is en de vingers of tenen koud zijn (Daanen & Ducharme, 1999; Daanen et al., 1997). Als het lichaam afkoelt, kiest het lichaam er voor om weinig bloed naar de vingers en tenen te sturen tijdens de CIVD reactie, om zo de kans op onderkoeling te verkleinen. Het risico op koudeletsel van de vingers en tenen kun je dus effectief verkleinen door te zorgen dat de lichaamskern warm is, bijvoorbeeld door het drinken van warme drank (geen alcohol want die onderdrukt de rilrespons).

Het doel en exacte mechanisme van CIVD staan nog ter discussie. Sommige auteurs zien CIVD als een nuttige reactie om overtollige lichaamswarmte in de kou kwijt te raken (Flouris & Cheung, 2010), terwijl ik het voornaamste nut zie in het voorkomen van koudeletsel. Het mechanisme van bloedvatverwijding in de vingertoppen staat weliswaar onder centrale invloed, maar wordt perifeer geïnitieerd. In een review (Weller et al., 2025) zetten we de mechanismen op een rij. Een belangrijke rol daarin speelt het werk van Tamara Buijs die experimenteel heeft laten zien dat sympathische zenuwen Nitraat-Oxide kunnen aanmaken, een krachtige bloedvatverwijder (Buijs et al., 2023).

Acclimatisatie

Jan Roelof Kruijthof was in de jaren zeventig en begin jaren tachtig vrijwel onverslaanbaar op schaatswedstrijden langer dan 100 km, maar hij had de pech dat de Elfstedentocht in deze periode niet gereden werd. Hij trainde in vriescellen om optimaal voorbereid te zijn op schaatswedstrijden in de kou mede vanuit de veronderstelling dat zijn lichaam zich aan de kou aan zou passen. Tegenwoordig is koud water zwemmen erg populair en hieraan worden verschillende claims gekoppeld over verbetering van de gezondheid. Wat zegt de wetenschappelijke literatuur over het aanpassingsvermogen van de mens aan de kou? Samen met hoogleraar Van Marken Lichtenbelt is een overzicht gemaakt (Daanen & Van Marken Lichtenbelt, 2016) en er is net een recente nieuwe review verschenen (Wakabayashi et al., 2025).

Bij 10 dagen blootstelling aan milde kou (zeg maar de thermostaat in de kamer op 15°C zetten), neemt de warmteproductie iets toe mede omdat iets meer bruin vet wordt aangemaakt en actief wordt (Van Der Lans et al., 2013). Bij serieuze koudeblootstelling zoals dagelijkse onderdompeling in koud water, voelt weliswaar de kou steeds minder vervelend, maar vind je minimale fysiologische veranderingen en als ze er al zijn gaan ze de verkeerde kant op: je gaat steeds sneller afkoelen in de kou (Brazaitis et al., 2014). Daarentegen worden wel metabole veranderingen in de spieren waargenomen in mensen met overgewicht of obesitas door ze 10 dagen lang een uur per dag te laten rillen (Sellers et al., 2024). Al met al zijn de mogelijkheden van een mens om zich aan koude aan te passen beperkt.

Er is nog veel discussie of regelmatige koudeblootstelling de gezondheid kan verbeteren. Zo is er discussie over het effect van kou op insulinegevoeligheid (Hanssen et al., 2015; Solianik et al., 2025). Regelmatig koud douchen wordt door veel mensen prettig gevonden, maar leidt niet tot minder ziekteverzuim (Buijze et al., 2016). Er is nog geen bewijs dat regelmatige blootstelling aan koud water de gezondheid bevordert (Esperland et al., 2022). Het heilzame effect van de Wim Hof methode op het immuunsysteem (Kox et al., 2014) blijkt voornamelijk toegeschreven te kunnen worden aan de ademhalingstechniek, en minder aan de koudeblootstelling (Zwaag et al., 2022). Goed dat onderzoek op dit gebied wordt voortgezet om een duidelijker beeld te krijgen van werkelijke winst van koudeblootstelling.

Kleding

Kleding vormt de verbindingslaag tussen de mens en zijn buitenwereld. Kleding zorgt voor vertraging van de warmteafgifte van de huid naar de koude omgeving en is essentieel om in ons koude klimaat te kunnen functioneren. De isolatie komt vooral door de stilstaande luchtlaagjes in kleding. Goed isolerende kleding is dus per definitie volumineus. De vertraging van warmteafgifte door kleding werkt alleen als het lichaam warmer is dan de omgeving: isolerende handschoenen hebben geen effect als de handen even koud zijn als de omgeving. Vandaar het goede advies om de handschoenen al binnen aan te doen voordat je de kou in gaat.

Door het toevoegen van verwarmingselementen in kleding kan extra warmte worden aangeboden waardoor het volume af kan nemen. Het is dan slim om dicht op de huid te verwarmen en daaroverheen isolatie te dragen (Wang et al., 2010). Verwarming kan worden aangebracht op de borst of extremiteiten (Fig. 7).



Figuur 7 Opname uit het Algemeen Dagblad van 25 januari 2020 over verwarmende kleding

Het actienetwerk GasTerug⁴ en Sigr⁵ kwamen in 2024 op het idee om 41 Amsterdammers met energiearmoede een verwarmingsvest aan te bieden en na te gaan of dit vest zou leiden tot verlaging van het gasverbruik. Studenten van de VU hebben metingen verricht en kwamen tot de conclusie dat de thermostaat 1,2°C lager werd gezet en het comfort desondanks toenam. De thermostaat 1°C lager zetten bespaart op jaarbasis tussen de 80€ voor een goed geïsoleerd huis tot 245€ voor een slecht geïsoleerd huis⁶. Ook gingen ze met het vest vaker naar buiten. Hoewel metingen met een thermische pop lieten zien dat niet veel warmte werd overgedragen door het vest, was de perceptie van warmte positief. Het kleine experiment wordt waarschijnlijk opgeschaald in de komende jaren.

⁴ <https://www.actienetwerk-gasterug.nl/>

⁵ <https://www.sigr.nl/>

⁶ <https://www.manners.nl/verwarming-stoken-20-graden-kosten-gasprijs/>

Forensisch onderzoek

Een slachtoffer van een dodelijk misdrijf koelt geleidelijk af. De afkoelsnelheid hangt vooral af van de lichaamssamenstelling en positie van het slachtoffer op de ondergrond, de thermische omgeving en de gedragen kleding. De afkoelsnelheid kan gebruikt worden om het moment van misdrijf in te schatten. Temperatuurbepaling is de meest betrouwbare methode in het tijdsinterval van 4 tot 48 uur (en in sommige gevallen 72 uur) na het misdrijf (Lelieveld et al., 1996). De technische recherche verricht daartoe in veel gevallen een bepaling van de rectale temperatuur. De gegevens worden ingevoerd in een thermisch model om de postmortale tijd in te schatten. In nauwe samenwerking met thermische modelbouwers (met name Prof. Den Hartog en Dr. Fiala) heb ik in de periode van 1998-2022 in totaal 15 keer een verslag uit mogen brengen van een forensisch onderzoek betreffende onderkoeling⁷.

Een problematische zaak speelde in 2022 rondom de dood van een 66-jarige man, met de codenaam Lima. De rechtercommissaris besloot zowel het Nederlands Forensisch Instituut (NFI) als Daanen/Fiala te vragen een postmortale tijdbepaling te doen. Het NFI gebruikte daarbij het model van Henssge (Henßge, 1979, 1981). Henssge bouwde op basis van de koelsnelheid van een aantal slachtoffers een regressiemodel⁸. Hij introduceerde een correctiefactor om het model kloppend te maken. In die correctiefactor moest je wind (ja of nee) en lichaamsbedekking meenemen. De lichaamslengte van het slachtoffer zat niet in het model, zodat een kleine dikke man en lange magere man met gelijk gewicht ook op een identieke koelsnelheid uitkwamen. Resultaten van kadaver-afkoelingen (bijvoorbeeld (Al-Alousi, 1987)) en recente publicaties (Hubig et al., 2015; Muggenthaler et al., 2012) tonen aan dat de validiteit en betrouwbaarheid van het Henssge model twijfelachtig is. Hubig et al. (2015) gaven aan dat de grootste fouten in het model optraden als het slachtoffer zwaarlijvig was, en in de Lima – case was dat het geval. Daarnaast bleek dat de geprinte versie van het model verkeerd was geschaald, waardoor afleesfouten optraden (Burger et al., 2013). Nu lijkt het duidelijk dat je zo'n model niet kunt gebruiken voor betrouwbare schatting van de postmortale tijd, maar een recente publicatie van Gelderman e.a. (2021) ziet het Henssge model als de meest betrouwbare standaard die er is. Dit oordeel kwam echter niet tot stand op basis van een kritische evaluatie, maar reflecteert het vertrouwen dat veel juristen hebben in het model, mede op basis van het grote aantal publicaties over dit model. Dat veel publicaties laten zien dat het model NIET de juiste postmortale tijd genereert, lijkt niet te worden meegewogen.

Het model van Fiala is gebaseerd op fysisch-chemische fenomenen zoals massatransfer, warmteoverdracht en massastroom (Fiala et al., 2001). Er wordt een digitale kopie van het slachtoffer gemaakt op basis van lichaamsafmetingen, hierbij wordt rekening gehouden met de thermische geleiding van botten en weefsels (Fiala et al., 1999), lichaamssamenstelling (Fiala & Havenith, 2016), en dergelijke. Dit soort modellen zijn niet zo gemakkelijk te bouwen als regressiemodellen, maar bieden meer nauwkeurigheid. In het Fiala model wordt rekening gehouden met details als windsnelheid, delen van het lichaam die bedekt zijn, het materiaal van bedekking en contactgebied met de vloer. De oppervlakte/inhoud verhouding van het lichaam, een kritische factor in afkoeling, wordt ook meegewogen.

⁷ Daarnaast zijn er een aantal verslagen uitgebracht waarin antropometrie een rol speelt (bijv. kon een verdachte zich door een gat wurmen van bepaalde afmetingen, is op basis van een foto een indicatie te geven van de lengte en gewicht van een verdachte, kan op basis van een vage foto bij een pinautomaat een verdachte met zekerheid worden herkend).

⁸ Te downloaden op <https://www.swisswuff.ch/calculators/todeszeit.php>

In een vergelijking tussen de kerntemperatuurdaling van 24 mensen die in het ziekenhuis zijn gestorven en de berekende tijden van het Henssge model, bleken de resultaten sterk te verschillen (Bovenschen et al., 2021). In de Lima rapportage lieten we zien dat de resultaten van het Fiala model goed overeen kwamen met de resultaten van metingen van afkoeling van kadavers met overgewicht (Al-Alousi, 1987).

In de Lima case kwam het Henssge model uit op een postmortale tijd van 21 uur en 6 minuten (range 17 uur en 53 minuten tot 24 uur en 17 minuten). Het model van Fiala kwam uit op 12 uur en 14 minuten (range 10 uur en 47 minuten tot 13 uur en 57 minuten). Een enorm verschil met repercussies voor het bepalen van het al dan niet juist zijn van het alibi van de verdachte. Mijn voorstel aan de rechtercommissaris om samen met het NFI het gesprek aan te gaan in een poging om een eenduidig advies aan justitie te kunnen geven, werd niet aangenomen. De rechtercommissaris, die zich in de zaak verdiepte, koos voor een urenlang interview met de auteurs van de rapportages die op papier werden vastgelegd en aan de rechter werden aangeboden.

De rechter oordeelde als volgt: “Naar het mogelijke tijdstip van overlijden van [slachtoffer] is door meerdere deskundigen onderzoek gedaan, met gebruikmaking van verschillende modellen. Dit onderzoek resulteerde in verschillende uitkomsten. .. Beide deskundigen hebben verklaard dat met de door hen gebruikte modellen aan de hand van de verwachte afkoeling van het lichaam kan worden berekend wanneer een persoon kan zijn overleden. Hoewel de modellen verschillen, geldt voor beide dat de uitkomst afhankelijk is van de variabelen die worden ingevoerd. .. Door die onzekerheden acht de rechtbank de uitkomsten van het onderzoek van de beide deskundigen met teveel twijfels omgeven om deze voor het bewijs te kunnen gebruiken.”

Het is in mijn ogen hard nodig dat we meer inzicht krijgen in de waarde van thermofysiologische modellen voor forensisch onderzoek om problemen zoals boven beschreven te voorkomen. Met deskundigen van het NFI is prettig samengewerkt in de onderzoeken met het doel om maatschappelijk onrecht te voorkomen en aan waarheidsvinding te doen. Gezien de maatschappelijke impact van dodelijke misdrijven en de belangrijke rol van temperatuurmodellering om het moment van het misdrijf in te schatten, ligt het voor de hand om met een samenwerkingsverband van forensisch specialisten, thermofysiologen en thermo-modeleerders aan dit probleem te werken. De deskundigheid in Nederland is er.

Chemotherapie

Bepaalde vormen van chemotherapie beschadigen niet alleen de tumor maar helaas ook gezond weefsel. Bekend is het optreden van haaruitval door chemotherapie. Door de hoofdhuid te koelen verlaagt het metabolisme van de cellen in de hoofdhuid en vermindert de lokale doorbloeding zodat de chemische agentia minder schade kunnen aanrichten aan de haarzakjes. Het werkt echter niet bij iedereen. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat als de lichaamskern warm is, de hoofdhuid ondanks de lokale koeling met een koelmuts, toch goed doorbloed is. Daarom is onderzoek gedaan of koeling van de lichaamskern de hoofdhuiddoorbloeding verder kan reduceren (Daanen et al., 2015). Uit het onderzoek bleek dat inname van ijs inderdaad de huiddoorbloeding verminderde, hetgeen tot de aanbeveling leidde om tijdens chemotherapie mensen koel te houden.

Een ander veel voorkomend probleem bij chemotherapie is het optreden van neuropathieën, vooral in de handen. Koeling van de handen is effectief in het tegengaan van deze lastige

complicatie (Michel et al., 2025). Eigenlijk kun je nog een stap verder maken: je wilt dat de chemische agentia de tumor goed bereiken en die regio zou je daarom kunnen verwarmen en alle locaties waar je de chemische agentia niet werkt zou je kunnen koelen. Door het lichaam thermisch te manipuleren zou je de mate van chemotherapie effectievere kunnen maken en complicaties verminderen.

Hitte

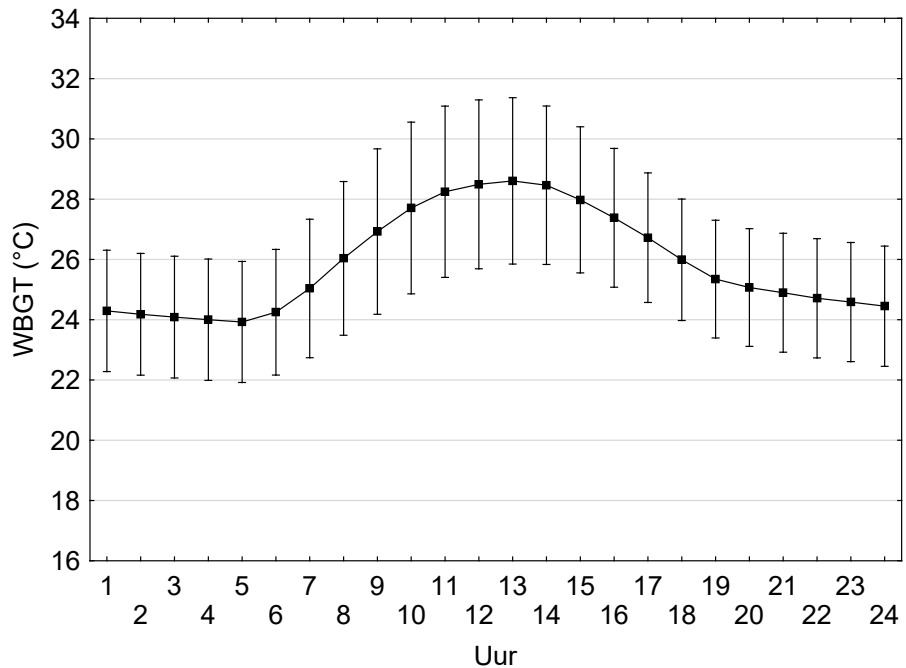
Niet alleen de omgevingstemperatuur, maar de combinatie van hoge temperatuur, hoge luchtvochtigheid, lage windsnelheid en veel zon vormt de hittebelasting voor de mens. Er zijn ruim honderd indices die in één maat deze hittebelasting willen vangen (Ioannou et al., 2022). De wet bulb globe temperature (WBGT) is een van de meest gebruikte. Deze wordt bepaald door de waarden van een thermometer in een nat katoenen kousje, een thermometer in een zwarte bol en een gewone thermometer op te tellen: $WBGT = 0,7 \text{ keer de natte bol temperatuur} + 0,2 \text{ keer de zwarte bol temperatuur} + 0,1 \text{ keer de gewone thermometer}$. Nederlandse militairen gebruiken de WBGT-waarde om in te schatten hoeveel gedronken moet worden en welke inspanning nog kan worden geleverd.

Inspanning

Zware inspanning in combinatie met een hoge WBGT kan leiden tot gezondheidsproblemen. Hierbij spelen een hoge lichaamstemperatuur en uitdroging van het lichaam door zweten een belangrijke rol. Bij sportevenementen wordt de WBGT gebruikt om te kijken of nog veilig kan worden gesport. Als bij een marathon de WBGT hoger is dan 21°C, kun je er van uitgaan dat er erg veel uitvallers zijn door hitteproblemen, en er wordt dan ook gepleit om boven deze limiet de marathon niet door te laten gaan of te verplaatsen in tijd of locatie (Roberts, 2010). Bij de marathon tijdens de Olympische spelen in Tokyo zou volgens verwachting de WBGT na het middaguur de 28°C overstijgen (Fig. 8) (Gerrett et al., 2019). Boven deze limieten hanteert de American College of Sports Medicine het afzeggen van het evenement of adviseren aan de deelnemers om zich terug te trekken⁹. Mede daarom heeft het Olympisch Comité besloten de marathon te vervroegen én naar een koudere locatie (Sapporo) te verplaatsen, waar zich, zover bekend, weinig problemen hebben voorgedaan. Een evaluatie leerde dat dan de WBGT om 5 uur s 'ochtends in Tokyo 25°C was, en in Sapporo 21°C (Hisato et al., 2023).

Toen in 2010 voor het eerst een marathoneindtijd van 2 uur in zicht kwam, rees de vraag wat de optimale thermische omstandigheden zouden zijn voor zo'n topprestatie. Met een eenvoudige warmtebalansberekening kwamen we uit op een omgevingstemperatuur van ongeveer 11°C (Foster et al., 2011). Dit optimum werd recentelijk bevestigd door de marathonprestatie voor een groot aantal marathons te evalueren (Mantzios et al., 2022).

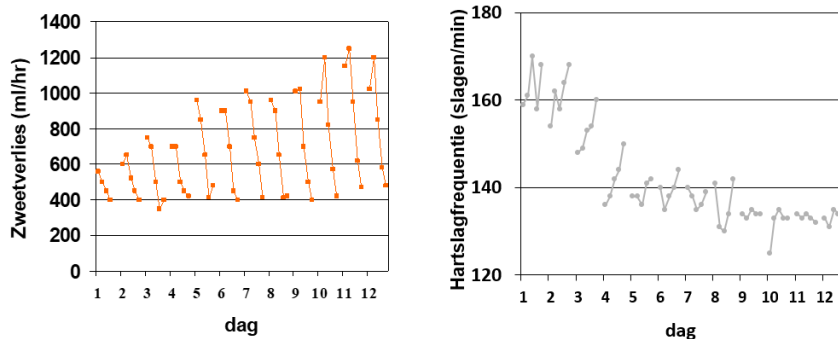
⁹ <https://rrm.com/acsm-heat-guidelines/>



Figuur 8 De WBGT waarde voor Tokyo zoals verwacht tijdens de periode van de Olympische Spelen, gebaseerd op 29 jaar meteo gegevens (Gerrett et al., 2019). De verticale balken zijn 1 standaard deviatie. Boven de 28°C adviseert het American College of Sports Medicine het evenement niet door te laten gaan wegens een te grote kans op hitteberoerte.

Acclimatisatie

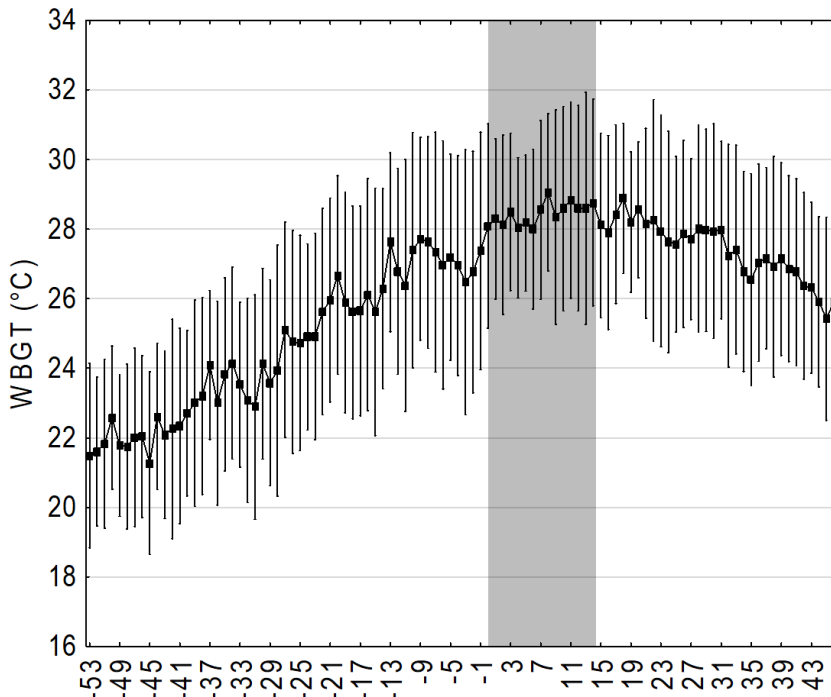
Door regelmatige hitteblootstelling krijgt de mens diverse gunstige fysiologische aanpassingen. Er wordt over de dagen steeds meer vocht vastgehouden, waardoor 1) er meer vocht is om uit te zweten en zo de huid beter te koelen en 2) de huid beter kan worden doorbloed zodat meer warmte aan de omgeving kan worden afgegeven. Als je niet-geacclimatiseerd bent, gaat er zo veel bloed naar de huid dat het hart wordt ondervuld en dit compenseert door sneller te gaan kloppen (Fig. 9). Doordat het bloedvolume stijgt door acclimatisatie aan hitte, daalt de hartslagfrequentie bij gelijke arbeid van 170 in niet-geacclimatiseerde toestand naar 130 in geacclimatiseerde toestand. In het linkerpanel van Fig. 9 valt de toename van de zweetsecretie te zien (Strydom et al., 1966).



Figuur 9 Zweetverlies (ml/uur) en hartslagfrequentie (slagen/min) tijdens staptesten in de loop van 12 dagen hitteacclimatisatie. De proefpersonen stapten 5 uur per dag op en af bankjes in een warme kamer (Strydom et al., 1966). De eerste 2 uren wordt meer gezweet dan de resterende uren.

Acclimatisatie kan plaatsvinden in de natuurlijke omgeving, bijvoorbeeld door een aantal weken voor het sportevenement naar de warme locatie te gaan, of in een klimaatkamer waar je het klimaat tevoren precies instelt. Een risico van acclimatisatie op de plek waar het sportevenement plaatsvindt, is dat het voorafgaand aan het sportevenement niet per sé warm genoeg is om de gewenste fysiologische aanpassingen te verkrijgen. Dat speelde rondom de Olympische Spelen (OS) van Tokyo (Fig. 10). In de weken voorafgaand aan de OS was het veel minder warm en daarom is geadviseerd om in klimaatkamers te acclimatiseren, zoals die in Papendal, bij TNO of op de VU. Er is een aparte ruimte gebouwd voor de watersporters in Scheveningen.

Het was niet eenvoudig om atleten te overtuigen van het belang van hitte-acclimatisatie mede omdat het kon interfereren met hun voorbereidingsschema. Wat hielp was een onderzoek waarin bij 105 Nederlandse atleten werd vastgesteld dat hun volhoudtijd in het Tokyo klimaat 26% korter was dan in het Nederlandse klimaat (de Korte et al., 2021).



Aantal dagen voorafgaand aan de Olympische Spelen in Tokyo

Figuur 10 Wet Bulb Globe Temperatuur (WBGT) in °C gerelateerd aan het aantal dagen voorafgaand aan de Olympische Spelen (OS) in Tokyo. Het grijze gedeelte is de periode van de OS (Gerrett et al., 2019).

De-acclimatisatie en re-acclimatisatie

Als je mensen enkele weken voorafgaand aan een sportevenement in de hitte laat acclimatiseren, nemen de verkregen aanpassingen met de tijd weer af na de hitte-acclimatisatieperiode. Dit wordt de-acclimatisatie genoemd. De thermische aanpassingen (lagere kerntemperatuur in de ochtend en na inspanning) beklijven nog wel, maar aanpassingen in hartslagfrequentie zijn na enkele weken deels verdwenen (Daanen et al., 2011; Weller et al., 2007). Uit een review bleek dat de winst in hartslagfrequentiedaling die gedurende de acclimatisatieperiode is opgebouwd, bij de-acclimatisatie weer met gemiddeld ongeveer 2,5% per dag afnam (Daanen et al., 2018).

Als na een maand de-acclimatisatie opnieuw inspanning in de hitte wordt verricht (re-acclimatisatie), verlopen de aanpassingen aanzienlijk sneller dan bij acclimatisatie; ongeveer 4 keer zo snel (Daanen et al., 2018). Het lijkt of het lichaam een soort geheugen heeft van de aanpassingen en deze weer snel op kan roepen. Vlak voor een topinspanning wil je eigenlijk niet veel inspanning leveren omdat je in de herstelfase zit, ook wel 'tapering' genoemd. Daarom is onderzocht of een warm bad een alternatief kan zijn voor inspanning in de hitte. Uit die studie

bleek dat passieve re-acclimatisatie (het warme bad) leidde tot dezelfde toenames in zweetproductie dan actieve re-acclimatisatie, maar dat de zweetsamenstelling wel wat anders was (Klous et al., 2020).

Kleding

Kleding isoleert en omdat je in de hitte je warmte kwijt wil raken is kleding daarmee onwenselijk. Echter, kleding beschermt ook, bijvoorbeeld de huid tegen de zon. Daarom is enige vorm van huidbedekking in de hitte wel gewenst. Als de omgeving warmer is dan de mens vertraagt kleding de overdracht van omgevingswarmte naar de mens. Daarom dragen brandweerlieden sterk isolerende kleding: om de warmte buiten te houden.

Van invloed op de warmteoverdracht is ook de **zonnestraling**. Ruimvallende kleding (met een spouwlaag van lucht er onder) zorgt dat de huid minder door de zon wordt opgewarmd. Als de kleding echt ruimvallend is, maakt de kleur niet uit (Shkolnik et al., 1980), maar als de kleding strak om het lichaam zit wel. Indien kleding wordt gebruikt om zonverbranding te voorkomen, dan is het belangrijk dat de kleding UV-werend is.

Voorals de kleding nat is, speelt de **windsnelheid** een rol. Door de wind kan het vocht sneller verdampen en meer koeling veroorzaken. Het is dan ook wenselijk dat zweet gemakkelijk uit de kleding kan verdampen. Uit polyester kan in het algemeen snel vocht verdampen; katoen heeft een groot absorptievermogen en laat vocht minder snel los. Kleding natmaken voor koeling werkt vooral in een droog-heet klimaat en slecht in een warm-vochtig klimaat omdat in een warm-vochtig klimaat het verschil in vochtigheid tussen kleding en omgeving geringer is. Als de kleding ruimvallend is en weinig contact met de huid heeft, koelt vooral de kleding; als de kleding strak om het lijf zit, koelt het lichaam beter mee. Bij dit soort evaporatieve koeling in kleding is een mogelijk nadeel dat het eigen geproduceerde zweet soms minder makkelijk wordt verdampt door de waterdampweerstand van de kleding op de huid. Voor mensen die minder (hypohydratie) of helemaal niet kunnen zweten (anhidrose) kan zo'n nat vest wel bijdragen aan koeling; de afwezigheid van zweten is dan gecompenseerd door water aan het vest toe te voegen.

Een **nadeel van koelen** kan zijn dat door bloedvatvernauwing in de huid of door reactieve thermogenese de effectiviteit daalt (Bogerd et al., 2010). Bloedvatvernauwing in de huid zorgt voor meer isolatie waardoor het lastiger wordt om warmte aan de huid te onttrekken. Een manier om dit te omzeilen is door niet continu, maar intermitterend te koelen. Op deze manier spaar je energie, zonder veel in te leveren op koelvermogen. Dit geldt zowel voor vloeistofkoeling (Cadarette et al., 2006) als voor luchtkoeling (Davey et al., 2013).

Kleding vormt een enorme **milieubelasting**, maar er zijn grote verschillen tussen textiele materialen die daarvoor worden gebruikt. <https://www.milieucentraal.nl/spullen-en-kleding/kleding/zo-schaadt-kleding-het-milieu/> geeft een goed overzicht van de overwegingen en verschillen.

Naast kleding als passief koelmiddel (door straling op de huid tegen te gaan en door vocht uit kleding te laten verdampen), is er ook actief koelende kleding. Deze kan worden ingedeeld in 1) vloeistofkoeling, 2) luchtkoeling en 3) materiaal met faseverandering.

Vloeistofkoeling

Vloeistofkoeling heeft als nadeel dat er een pomp en warmtewisselaar meegenomen moeten worden en dus de mobiliteit sterk wordt beperkt. Er zijn weliswaar systemen die in een rugzak

meegedragen kunnen worden (Teunissen et al., 2014), maar gewicht blijft een probleem. Er kan wel veel warmte aan het lichaam worden onttrokken, omdat water een goede geleider is van warmte en omdat water een grote warmtecapaciteit heeft. De hoeveelheid warmteonttrekking hangt onder andere af van het koelmedium (glycol koelt meer dan water bijvoorbeeld), de temperatuur van het koelmedium en de doorstroomsnelheid. Waarden tot 600 W aan koeling zijn voor mensen mogelijk (Nunneley, 1970). Dit is voldoende koeling voor lichte tot matige inspanning. Als een mens op een fiets 150 W vermogen levert bij 20% efficiëntie, wordt 600 W aan hitte geproduceerd. Dat is ongeveer de maximale hoeveelheid warmte die kan worden weggekoeld met vloeistofgekoelde kleding. Water heeft meestal de voorkeur als koelmedium, omdat bij lekkage minder problemen optreden dan wanneer glycol wordt gebruikt. Medewerkers van de explosieven opruimingsdienst bijvoorbeeld kunnen onder hun bommenpakken kiezen voor gebruik van kleding met waterkoeling.

Luchtkoeling

Luchtkoeling kan lichter worden uitgevoerd dan waterkoeling. De meest eenvoudige vorm is door ongekoelde omgevingslucht in de kledingspouw te blazen en op deze wijze de verdamping van zweet te verbeteren (Fig. 11).



Figuur 11 Een medewerker van de plantsoenendienst in Japan die een ventilatievest draagt.

Door deze wijze van koeling toe te passen onder het dompelpak van vliegers, steeg hun zweetefficiëntie (de verhouding tussen verdampt en geproduceerd zweet) van 57% naar 90% ofwel 50 watt extra koeling (Reffelrath, 2006). Een andere manier om te koelen is door de lucht te drogen en dan in te blazen; op die manier kan het zweet gemakkelijker verdampen (Glitz et al., 2015). Erg krachtig werkt het natuurlijk door de lucht te koelen en te drogen met een airconditioningsysteem en dan in de kleding te blazen. Nadeel van deze laatste methode is dat je daarvoor weer veel apparatuur (en daarmee gewicht) nodig hebt.

Phase change materials (PCM)

Het bekendste PCM (phase change material) voor koelend gebruik in kleding is ijs, maar er zijn ook materialen waarbij de temperatuur van faseverandering kan worden ingesteld (Shim et al., 2001).

Vesten met zakken om ijs in te doen zijn gemakkelijk te maken en geven aanzienlijke koeling. IJsvesten zijn populair en effectief als precool-middel voor sport (Arngrímsson et al., 2004). In de Duitse mijnen kregen mijnwerkers toestemming om langer door te werken (en dus meer te verdienen) als ze deze vesten droegen.

Nadeel van PCM's is dat na de faseverandering en het ophouden van het koelvermogen het extra gewicht moet worden meegedragen.

Toekomstig onderzoek

Naast het traditionele toetsend onderzoek (in een klimaatkamer mensen blootstellen aan standaard condities en daarbij één variabele variëren), worden thermische modellering en datamining in grote bestanden steeds meer gebruikt. Het gebruik van meerdere technieken om een vraag te adresseren, leidt vaak tot betere antwoorden. Een uitdaging is nog om de juiste methode bij de juiste vraag te kiezen en om de methoden onderling op elkaar af te stemmen.

Het onderzoek op het gebied van thermofysiologie wordt helaas gekenmerkt door een flinke bias: voornamelijk Westerse mannen van jonge leeftijd zijn onderzocht. In de laatste jaren is gelukkig sprake van een verhoogd bewustzijn voor deze selectiviteit en worden pogingen gedaan het vervormde beeld te herstellen. Goed als deze trend zich doorzet.

In dit boekje zijn diverse onderzoekslacunes naar voren gekomen, die hier worden samengevat:

- Hoe ga je het best om met een onderkoelde die je aantreft; hoe voorkom ik een te sterke daling van de lichaamstemperatuur tijdens opwarming?
- Wat zijn de mechanismen die Cold Induced Vasodilation veroorzaken?
- Zorgen verwarmingsvesten ervoor dat je de thermostaat van de verwarming lager zet?
- Hoe kunnen we het meest betrouwbaar en valide de postmortale tijd bepalen van een slachtoffer van een misdrijf?
- Hoe kunnen we door temperatuurmanipulatie van het lichaam de chemicaliën tijdens chemotherapie zo goed mogelijk op de gewenste plek krijgen en niet op de ongewenste plekken in het lichaam?
- Welke persoonlijke factoren (leeftijd, trainingstoestand, geslacht, vermoeidheid) bepalen het succes van hitte (de-)acclimatisatie?
- Welke type koelsysteem in kleding is het meest geschikt om de mens te koelen tijdens hete perioden?
- Bij welke thermische omgeving kan een mens zijn warmtebalans niet meer handhaven, en welke rol spelen persoonlijke factoren als leeftijd en geslacht hierin?
- Welke factoren verklaren de afgenomen relatieve hittegerelateerde sterfte in Nederland: betreft het gedragsaanpassingen, fysiologische aanpassingen of meer aircogebruik?

Het is mijn voornemen om ook na mijn pensioen de ontwikkelingen op deze gebieden te blijven volgen.

Dankwoord

Ik wil graag mijn dank betuigen aan alle mensen die mijn werk mogelijk hebben gemaakt en gezorgd hebben dat ik mijn werk altijd met plezier kon doen.

In het bijzonder wil ik Peter Hollander en Rob Binkhorst bedanken die mijn afstudeerwerk hebben begeleid en de basis hebben gelegd voor mijn wetenschappelijke interesse. Tijdens mijn eerste baan in Leiden heb ik veel geleerd van Peter Vink over het opzetten en uitvoeren van onderzoek en de creatieve noot daarin. Bij TNO was Wouter Lotens een uitstekende leermeester die mij samen met Michel Ducharme introduceerde in de thermofysiologie. Ook leerde ik veel van de collega's waarmee ik samenwerkte waaronder George Havenith, Emiel den Hartog, Ronald Heus en Lyda Kistemaker. Dank daarvoor.

Waar ik ook mijn dank voor uit wil spreken is het vertrouwen dat ik kreeg om mijn werk te doen door het management, met name Dick van Norren bij TNO en Peter Beek, Jeroen Smeets, Jaap van Dieën en Maurits van Tulder van de VU. Ik dank ook het College van Bestuur voor het in mij gestelde vertrouwen.

Ik wil ook graag de opdrachtgevers bedanken waarmee nauw is samengewerkt. Met name defensie, en speciaal daarbij het KPU-bedrijf en TGTF, NOC*NSF, in het bijzonder Kamiel Maase, en de medewerkers van ZonMW die zich erg betrokken tonen bij het onderzoek.

Ik wil mijn promovendi van harte bedanken voor de prettige samenwerking: Floor Hettinga, nu hoofd van de afdeling bewegingswetenschappen, die ik samen met Jos de Koning mocht begeleiden; Koen Levels, Lennart Teunissen en Nicky Nibbeling die met fondsen van TNO met de VU samen onderzoek konden doen; en verder Nina Bogerd, Stephan van der Zwaard, Irene Maldini en Thierry Mentzel. Bij de begeleiding van drie meest recent gepromoveerden Puck Alkemade, Lisa Klous en Mireille Folkerts speelde postdoc Nicola Gerrett een grote rol, waarvoor ik haar dankbaar ben. Ook de huidige promovendi Rebecca Weller, Timo van den Bogaard en Aisha Ndiaye ben ik dankbaar voor de prettige werksfeer. Samenwerken met deze jonge mensen houdt mij bij de les. Op dit moment werk ik nauw samen in het onderzoek voor ZonMW met postmaster Eline van der Kamp die ik bedank voor haar uitstekende ondersteuning daarbij. De studenten die ik les heb mogen geven of heb mogen begeleiden dank ik voor het werkplezier dat ze me hebben gegeven.

In Nederland is er een hecht netwerk van thermofysiologen die vruchtbaar met elkaar samenwerken. Ik bedank met name de groep uit Nijmegen met Maria Hopman, Thijs Eijvogels en Coen Bongers, de groep uit Maastricht met Wouter van Marken Lichtenbelt en Hannah Pallubinsky, en TNO in Soesterberg met Boris Kingma, Lisa Klous en collega's.

Heel bijzonder is de prettige samenwerking binnen de VU met bijvoorbeeld Wouter Botzen. Ik bedank iedereen binnen de afdeling Bewegingswetenschappen voor de fijne samenwerking en noem met name de wetenschappers uit mijn sectie: Jos de Koning, Jo de Ruiter, Mathijs Hofmijster, Richard Jaspers, Rob Wüst, Melissa Hooijmans, Rob Weide en Richie Goulding. Ook aan de ondersteuners is dank verschuldigd: de technici van de afdeling, het schoonmaakpersoneel, secretariaat en de ondersteunende staf voor onderzoek en onderwijs.

Tenslotte dank ik mijn overleden ouders en broer, vrouw Elly en kinderen Paul en Emma voor de interesse in en betrokkenheid bij mijn werk. Ik heb gezegd.

Referenties

- Al-Alousi. (1987). *The post-mortem interval: a study of the body cooling rate and steriod degradation after death*. University of Glasgow]. Glasgow.
<https://theses.gla.ac.uk/4317/1/1987al-AlousiPhD.pdf>
- Albiin, N., & Eriksson, A. (1984). Fatal accidental hypothermia and alcohol [Article]. *Alcohol and Alcoholism*, 19(1), 13-22. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0021219132&partnerID=40&md5=5630feac72a36e5a090e565146b191c5>
- Anderson, C. A. (1989). Temperature and Aggression: Ubiquitous Effects of Heat on Occurrence of Human Violence [Review]. *Psychological Bulletin*, 106(1), 74-96.
<https://doi.org/10.1037/0033-2909.106.1.74>
- Arngrímsson, S. Á., Petitt, D. S., Stueck, M. G., Jorgensen, D. K., & Cureton, K. J. (2004). Cooling vest worn during active warm-up improves 5-km run performance in the heat [Article]. *Journal of applied physiology*, 96(5), 1867-1874.
<https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00979.2003>
- Bogerd, N., Perret, C., Bogerd, C. P., Rossi, R. M., & Daanen, H. A. (2010). The effect of pre-cooling intensity on cooling efficiency and exercise performance. *J Sports Sci*, 28(7), 771-779. <https://doi.org/10.1080/02640411003716942>
- Bovenschen, M., Schwender, H., Ritz-Timme, S., Beseoglu, K., & Hartung, B. (2021). Estimation of time since death after a post-mortem change in ambient temperature: Evaluation of a back-calculation approach. *Forensic Sci Int*, 319, 110656.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110656>
- Brändström, H., Eriksson, A., Giesbrecht, G., Ångquist, K. A., & Haney, M. (2012). Fatal hypothermia: An analysis from a sub-arctic region [Article]. *International Journal of Circumpolar Health*, 71(1). <https://doi.org/10.3402/ijch.v71i0.18502>
- Brazaitis, M., Eimantas, N., Daniuseviciute, L., Baranauskiene, N., Skrodeniene, E., & Skurvydas, A. (2014). Time course of physiological and psychological responses in humans during a 20-day severe-cold-acclimation programme [Article]. *PLoS One*, 9(4), Article e94698. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094698>
- Buijs, T. J., Vilar, B., Tan, C. H., & McNaughton, P. A. (2023). STIM1 and ORAI1 form a novel cold transduction mechanism in sensory and sympathetic neurons [Article]. *EMBO Journal*, 42(3), Article e111348. <https://doi.org/10.15252/emboj.2022111348>
- Buijze, G. A., Sierevelt, I. N., Van Der Heijden, B. C. J. M., Dijkgraaf, M. G., & Frings-Dresen, M. H. W. (2016). The effect of cold showering on health and work: A randomized controlled trial [Article]. *PLoS One*, 11(9), Article e0161749.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161749>
- Burger, E., Dempers, J., Steiner, S., & Shepherd, R. (2013). Henssge nomogram typesetting error. *Forensic Sci Med Pathol*, 9(4), 615-617. <https://doi.org/10.1007/s12024-013-9488-5>
- Cadarette, B. S., Chevront, S. N., Kolka, M. A., Stephenson, L. A., Montain, S. J., & Sawka, M. N. (2006). Intermittent microclimate cooling during exercise-heat stress in US army chemical protective clothing [Article]. *Ergonomics*, 49(2), 209-219.
<https://doi.org/10.1080/00140130500436106>
- Daanen, H. A. M. (1991). *Arterio-venous anastomoses and thermoregulation* (Report 1991 B-12). T. H. Factors.
- Daanen, H. A. M. (1997). *Central and peripheral control of finger blood flow in the cold* [Vrije Universiteit Amsterdam]. Wageningen.
- Daanen, H. A. M. (2009a). Cold-induced vasodilation [Letter]. *European journal of applied physiology*, 105(4), 663-664. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0958-5>

- Daanen, H. A. M. (2009b). Manual performance deterioration in the cold estimated using the wind chill equivalent temperature [Article]. *Industrial Health*, 47(3), 262-270. <https://doi.org/10.2486/indhealth.47.262>
- Daanen, H. A. M., Brandsma, M. G., Cox, C., Knoll, B., & Pernot, C. (2002). Hypothermia prevention during the royal marriage party in the Amsterdam Arena Stadium. *Journal of the Human-Environment System*, 61(1), 31-37.
- Daanen, H. A. M., Dijkstra, I., Abbink, E., de Jong, I. J., Wolf, S. T., Bongers, C., Hondema, L. S., Eijsvogels, T. M. H., & Kingma, B. R. M. (2024). Sex differences in thermophysiological responses of elderly to low-intensity exercise during uncompensable heat strain. *Eur J Appl Physiol*. <https://doi.org/10.1007/s00421-024-05457-8>
- Daanen, H. A. M., & Ducharme, M. B. (1999). Finger cold-induced vasodilation during mild hypothermia, hyperthermia and at thermoneutrality [Article]. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 70(12), 1206-1210. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0032745452&partnerID=40&md5=b8086da44ac237a37466a951ce900120>
- Daanen, H. A. M., & Herweijer, J. A. (2015). Effectiveness of an indoor preparation program to increase thermal resilience in elderly for heat waves [Article]. *Building and Environment*, 83, 115-119. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.04.010>
- Daanen, H. A. M., Jonkman, A. G., Layden, J. D., Linnane, D. M., & Weller, A. S. (2011). Optimising the acquisition and retention of heat acclimation [Article]. *International Journal of Sports Medicine*, 32(11), 822-828. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1279767>
- Daanen, H. A. M., Peerbooms, M., van den Hurk, C. J. G., van Os, B., Levels, K., Teunissen, L. P. J., & Breed, W. P. M. (2015). Core temperature affects scalp skin temperature during scalp cooling [Article]. *International Journal of Dermatology*, 54(8), 916-921. <https://doi.org/10.1111/ijd.12568>
- Daanen, H. A. M., Racinais, S., & Périard, J. D. (2018). Heat Acclimation Decay and Re-Induction: A Systematic Review and Meta-Analysis [Review]. *Sports Medicine*, 48(2), 409-430. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0808-x>
- Daanen, H. A. M., & Van de Linde, F. J. G. (1992). Comparison of four noninvasive rewarming methods for mild hypothermia [Article]. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 63(12), 1070-1076. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0026469290&partnerID=40&md5=4d25107ce6a8df37a2050186de93175b>
- Daanen, H. A. M., Van De Linde, F. J. G., Romet, T. T., & Ducharme, M. B. (1997). The effect of body temperature on the hunting response of the middle finger skin temperature [Article]. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 76(6), 538-543. <https://doi.org/10.1007/s004210050287>
- Daanen, H. A. M., & Van Der Struijs, N. R. (2005). Resistance index of frostbite as a predictor of cold injury in arctic operations [Article]. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 76(12), 1119-1122. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-28844461993&partnerID=40&md5=5879164bd3336c4666a671903962b02f>
- Daanen, H. A. M., & Van Marken Lichtenbelt, W. D. (2016). Human whole body cold adaptation [Review]. *Temperature*, 3(1), 104-118. <https://doi.org/10.1080/23328940.2015.1135688>
- Davey, S. L., Barwood, M. J., & Tipton, M. J. (2013). Thermal perceptions and skin temperatures during continuous and intermittent ventilation of the torso throughout and after exercise in the heat. *Eur J Appl Physiol*, 113(11), 2723-2735. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2697-5>
- de Korte, J. Q., Bongers, C., Hopman, M. T. E., & Eijsvogels, T. M. H. (2021). Exercise Performance and Thermoregulatory Responses of Elite Athletes Exercising in the Heat: Outcomes of the Thermo Tokyo Study. *Sports Med*, 51(11), 2423-2436. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01530-w>

- Esperland, D., de Weerd, L., & Mercer, J. B. (2022). Health effects of voluntary exposure to cold water - a continuing subject of debate. *Int J Circumpolar Health*, 81(1), 2111789. <https://doi.org/10.1080/22423982.2022.2111789>
- Fiala, D., & Havenith, G. (2016). Modelling Human Heat Transfer and Temperature Regulation. In *Studies in Mechanobiology, Tissue Engineering and Biomaterials* (Vol. 19, pp. 265-302).
- Fiala, D., Lomas, K. J., & Stohrer, M. (1999). A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: The passive system [Article]. *Journal of applied physiology*, 87(5), 1957-1972. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.87.5.1957>
- Fiala, D., Lomas, K. J., & Stohrer, M. (2001). Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions [Article]. *International Journal of Biometeorology*, 45(3), 143-159. <https://doi.org/10.1007/s004840100099>
- Fischer, H., Meissner, K. J., Mix, A. C., Abram, N. J., Austermann, J., Brovkin, V., Capron, E., Colombaroli, D., Daniau, A.-L., Dyez, K. A., Felis, T., Finkelstein, S. A., Jaccard, S. L., McClymont, E. L., Rovere, A., Sutter, J., Wolff, E. W., Affolter, S., Bakker, P.,...Zhou, L. (2018). Palaeoclimate constraints on the impact of 2 °C anthropogenic warming and beyond. *Nature Geoscience*, 11(7), 474-485. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0146-0>
- Flouris, A. D., & Cheung, S. S. (2010). On the origins of cold-induced vasodilation [Note]. *European journal of applied physiology*, 108(6), 1281-1282. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1324-y>
- Folkerts, M. A., Bröde, P., Botzen, W. J. W., Martinus, M. L., Gerrett, N., Harmsen, C. N., & Daanen, H. A. M. (2020). Long Term Adaptation to Heat Stress: Shifts in the Minimum Mortality Temperature in the Netherlands [Article]. *Frontiers in Physiology*, 11, Article 225. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00225>
- Folkerts, M. A., Bröde, P., Botzen, W. J. W., Martinus, M. L., Gerrett, N., Harmsen, C. N., & Daanen, H. A. M. (2022). Sex differences in temperature-related all-cause mortality in the Netherlands [Article]. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 95(1), 249-258. <https://doi.org/10.1007/s00420-021-01721-y>
- Foster, C., De Koning, J. J., & Daanen, H. A. (2011). Two-hour marathon requires mother nature's help [Letter]. *Journal of applied physiology*, 110(1), 290-291. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01259.2010>
- Gelderman, T., Stigter, E., Krap, T., Amendt, J., & Duijst, W. (2021). The time of death in Dutch court; using the Daubert criteria to evaluate methods to estimate the PMI used in court. *Leg Med (Tokyo)*, 53, 101970. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2021.101970>
- Gerrett, N., Kingma, B. R. M., Sluijter, R., & Daanen, H. A. M. (2019). Ambient conditions prior to Tokyo 2020 Olympic and Paralympic games: Considerations for acclimation or acclimatization strategies [Article]. *Frontiers in Physiology*, 10(APR), Article 414. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00414>
- Gilbert, M., Busund, R., Skagseth, A., Nilsen, P. Å., & Solbø, J. P. (2000). Resuscitation from accidental hypothermia of 13.7°C with circulatory arrest [Article]. *Lancet*, 355(9201), 375-376. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)01021-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)01021-7)
- Glitz, K. J., Seibel, U., Rohde, U., Gorges, W., Witzki, A., Piekarski, C., & Leyk, D. (2015). Reducing heat stress under thermal insulation in protective clothing: microclimate cooling by a 'physiological' method [Article]. *Ergonomics*, 58(8), 1461-1469. <https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1013574>
- Hanssen, M. J. W., Hoeks, J., Brans, B., Van Der Lans, A. A. J. J., Schaart, G., Van Den Driessche, J. J., Jörgensen, J. A., Boekschoten, M. V., Hesselink, M. K. C., Havekes, B., Kersten, S., Mottaghy, F. M., Van Marken Lichtenbelt, W. D., & Schrauwen, P. (2015). Short-term

- cold acclimation improves insulin sensitivity in patients with type 2 diabetes mellitus. *Nature Medicine*, 21(8), 863-865. <https://doi.org/10.1038/nm.3891>
- Haverkamp, F. J. C., Giesbrecht, G. G., & Tan, E. (2018). The prehospital management of hypothermia - An up-to-date overview. *Injury*, 49(2), 149-164. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.11.001>
- Henßge, C. (1979). Precision of estimating the time of death by mathematical expression of rectal body cooling [Article]. *Zeitschrift für Rechtsmedizin*, 83(1), 49-67. <https://doi.org/10.1007/BF00201311>
- Henßge, C. (1981). Estimation of death-time by computing the rectal body cooling under various cooling conditions [Article]. *Zeitschrift für Rechtsmedizin*, 87(3), 147-178. <https://doi.org/10.1007/BF00204763>
- Hisato, O., Mori, T., Shinagawa, K., Nakayama, S., Hosobuchi, H., & Mushtaha, E. (2023). Risk Assessment of Heat Stroke during the Marathon of the Tokyo 2020 Olympics in Sapporo, Hokkaido. *Sustainability*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/su15053997>
- Hubig, M., Muggenthaler, H., Sinicina, I., & Mall, G. (2015). Temperature based forensic death time estimation: The standard model in experimental test. *Leg Med (Tokyo)*, 17(5), 381-387. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2015.05.005>
- Ioannou, L. G., Mantzios, K., Tsoutsoubi, L., Notley, S. R., Dinas, P. C., Brearley, M., Epstein, Y., Havenith, G., Sawka, M. N., Brode, P., Mekjavic, I. B., Kenny, G. P., Bernard, T. E., Nybo, L., & Flouris, A. D. (2022). Indicators to assess physiological heat strain - Part 1: Systematic review. *Temperature (Austin)*, 9(3), 227-262. <https://doi.org/10.1080/23328940.2022.2037376>
- Kingma, B. R. M., Frijns, A. J. H., Schellen, L., & van Marken Lichtenbelt, W. D. (2014). Beyond the classic thermoneutral zone: Including thermal comfort [Article]. *Temperature*, 1(2), 142-149. <https://doi.org/10.4161/temp.29702>
- Klompmaaker, J., & Hagens, W. (2025). *Evaluatie Nationaal Hitteplan – de relatie tussen temperatuur en sterfte* (RIVM-rapport 2025-0059).
- Klous, L., de Ruiter, C., Alkemade, P., Daanen, H., & Gerrett, N. (2020). Sweat rate and sweat composition following active or passive heat re-acclimation: A pilot study [Article]. *Temperature*. <https://doi.org/10.1080/23328940.2020.1826287>
- Kox, M., Van Eijk, L. T., Zwaag, J., Van Den Wildenberg, J., Sweep, F. C. G. J., Van Der Hoeven, J. G., & Pickkers, P. (2014). Voluntary activation of the sympathetic nervous system and attenuation of the innate immune response in humans [Article]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(20), 7379-7384. <https://doi.org/10.1073/pnas.1322174111>
- Lelieveld, J. H. L. M., Visser, R., Bongaers, J. G. M., Holkamp, L. A., Metz, F. J. J. M., Monnerie, R. A., Van Zijl, A., & Daanen, H. A. M. (1996). *Postmortale tijdsintervalbepaling. Eindrapportage van de GRAM werkgroep*.
- Lim, C., & Duflo, J. (2008). Hypothermia fatalities in a temperate climate: Sydney, Australia [Article]. *Pathology*, 40(1), 46-51. <https://doi.org/10.1080/00313020701716466>
- Mantzios, K., Ioannou, L. G., Panagiotaki, Z. O. E., Ziaka, S., Périard, J. D., Racinais, S., Nybo, L., & Flouris, A. D. (2022). Effects of Weather Parameters on Endurance Running Performance: Discipline-specific Analysis of 1258 Races [Article]. *Medicine and science in sports and exercise*, 54(1), 153-161. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002769>
- Masselot, P., Mistry, M. N., Rao, S., Huber, V., Monteiro, A., Samoli, E., Stafoggia, M., de'Donato, F., Garcia-Leon, D., Ciscar, J. C., Feyen, L., Schneider, A., Katsouyanni, K., Vicedo-Cabrera, A. M., Aunan, K., & Gasparrini, A. (2025). Estimating future heat-related and cold-related mortality under climate change, demographic and adaptation scenarios in 854 European cities. *Nat Med*, 31(4), 1294-1302. <https://doi.org/10.1038/s41591-024-03452-2>

- Michel, L. L., Schwarz, D., Romar, P., Feisst, M., Hamberger, D., Priester, A., Kurre, E., Klein, E., Müller, J., Schinköthe, T., Weiler, M., Smetanay, K., Fremd, C., Heublein, S., Thewes, V., Breckwoldt, M. O., Jäger, D., Bendszus, M., Marmé, F., & Schneeweiss, A. (2025). Efficacy of Hand Cooling and Compression in Preventing Taxane-Induced Neuropathy: The POLAR Randomized Clinical Trial [Article]. *JAMA Oncology*.
<https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2025.0001>
- Mizukami, H., Shimizu, K., Shiono, H., Uezono, T., & Sasaki, M. (1999). Forensic diagnosis of death from cold [Article]. *Legal Medicine*, 1(4), 204-209. [https://doi.org/10.1016/S1344-6223\(99\)80039-X](https://doi.org/10.1016/S1344-6223(99)80039-X)
- Muggenthaler, H., Sinicina, I., Hubig, M., & Mall, G. (2012). Database of post-mortem rectal cooling cases under strictly controlled conditions: a useful tool in death time estimation. *Int J Legal Med*, 126(1), 79-87. <https://doi.org/10.1007/s00414-011-0573-6>
- Nunneley, S. A. (1970). Water cooled garments: A review [Review]. *Space Life Sciences*, 2(3), 335-360. <https://doi.org/10.1007/BF00929293>
- Oesterhelweg, L., Klotzbach, H., & Püschel, K. (2003). Epidemiological and phenomenological aspects of death from hypothermia [Article]. *Rechtsmedizin*, 13(1), 11-17.
<https://doi.org/10.1007/s00194-002-0181-3>
- Reffeltrath, P. A. (2006). Heat stress reduction of helicopter crew wearing a ventilated vest. *Aviat Space Environ Med*, 77(5), 545-550.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16708535>
- Roberts, W. O. (2010). Determining a "do not start" temperature for a marathon on the basis of adverse outcomes. *Med Sci Sports Exerc*, 42(2), 226-232.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181b1cdcf>
- Romanello, M., Walawender, M., Hsu, S. C., Moskeland, A., Palmeiro-Silva, Y., Scamman, D., Ali, Z., Ameli, N., Angelova, D., Ayeb-Karlsson, S., Basart, S., Beagley, J., Beggs, P. J., Blanco-Villafuerte, L., Cai, W., Callaghan, M., Campbell-Lendrum, D., Chambers, J. D., Chicmana-Zapata, V.,...Costello, A. (2024). The 2024 report of the Lancet Countdown on health and climate change: facing record-breaking threats from delayed action. *Lancet*, 404(10465), 1847-1896. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(24\)01822-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)01822-1)
- Rothschild, M. A., & Schneider, V. (1995). "Terminal burrowing behaviour" -a phenomenon of lethal hypothermia [Article]. *International Journal of Legal Medicine*, 107(5), 250-256.
<https://doi.org/10.1007/BF01245483>
- Sellers, A. J., van Beek, S. M. M., Hashim, D., Baak, R., Pallubinsky, H., Moonen-Kornips, E., Schaart, G., Gemmink, A., Jörgensen, J. A., van de Weijer, T., Kalkhoven, E., Hooiveld, G. J., Kersten, S., Hesselink, M. K. C., Schrauwen, P., Hoeks, J., & van Marken Lichtenbelt, W. D. (2024). Cold acclimation with shivering improves metabolic health in adults with overweight or obesity. *Nat Metab.*, 6(12), 2246-2253. <https://doi.org/10.1038/s42255-024-01172-y>
- Sherwood, S. C., & Huber, M. (2010). An adaptability limit to climate change due to heat stress. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 107(21), 9552-9555.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0913352107>
- Shim, H., McCullough, E. A., & Jones, B. W. (2001). Using Phase Change Materials in Clothing [Article]. *Textile Research Journal*, 71(6), 495-502.
<https://doi.org/10.1177/004051750107100605>
- Shimizu, K., Shiono, H., Fukushima, T., & Sasaki, M. (1996). Paradoxical undressing in fatal hypothermia [Article]. *Acta Criminologiae et Medicinae Legalis Japonica*, 62(5), 151-155.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0029908952&partnerID=40&md5=1e7ee725b2987c41bb3bc2ef2b796874>
- Shkolnik, A., Taylor, C. R., Finch, V., & Borut, A. (1980). Why do Bedouins wear black robes in hot deserts? [Letter]. *Nature*, 283(5745), 373-375. <https://doi.org/10.1038/283373a0>

- Sivaloganathan, S. (1986). Paradoxical Undressing and Hypothermia [Article]. *Medicine, Science and the Law*, 26(3), 225-229. <https://doi.org/10.1177/002580248602600310>
- Solianik, R., Jarutiene, L., & Brazaitis, M. (2025). Daily brief whole-body immersion in 14 °C water temporarily decreases glucose tolerance and insulin sensitivity [Article]. *Journal of thermal biology*, 129, Article 104088. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2025.104088>
- Strydom, N. B., Wyndham, C. H., Williams, C. G., Morrison, J. F., Bredell, G. A., Benade, A. J., & Von Rahden, M. (1966). Acclimatization to humid heat and the role of physical conditioning. *J Appl Physiol*, 21(2), 636-642. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5934473>
- Teunissen, L. P. J., Wang, L. C., Chou, S. N., Huang, C. H., Jou, G. T., & Daanen, H. A. M. (2014). Evaluation of two cooling systems under a firefighter coverall [Article]. *Applied Ergonomics*, 45(6), 1433-1438. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.04.008>
- Todd, N., & Valleron, A. J. (2015). Space-time covariation of mortality with temperature: A systematic study of deaths in France, 1968–2009 [Article]. *Environmental Health Perspectives*, 123(7), 659-664. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307771>
- Van De Vliert, E., Schwartz, S. H., Huismans, S. E., Hofstede, G., & Daan, S. (1999). Temperature, cultural masculinity, and domestic political violence: A cross-national study [Article]. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 30(3), 291-314. <https://doi.org/10.1177/0022022199030003002>
- Van Der Lans, A. A. J. J., Hoeks, J., Brans, B., Vijgen, G. H. E. J., Visser, M. G. W., Vosselman, M. J., Hansen, J., Jörgensen, J. A., Wu, J., Mottaghy, F. M., Schrauwen, P., & Van Marken Lichtenbelt, W. D. (2013). Cold acclimation recruits human brown fat and increases nonshivering thermogenesis [Article]. *Journal of Clinical Investigation*, 123(8), 3395-3403. <https://doi.org/10.1172/JCI68993>
- Vecellio, D. J., Tony Wolf, S., Cottle, R. M., & Larry Kenney, W. (2022). Evaluating the 35C wet-bulb temperature adaptability threshold for young, healthy subjects (PSU HEAT Project) [Article]. *Journal of applied physiology*, 132(2), 340-345. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00738.2021>
- Wakabayashi, H., Sakaue, H., & Nishimura, T. (2025). Recent updates on cold adaptation in population and laboratory studies, including cross-adaptation with nonthermal factors [Review]. *Journal of physiological anthropology*, 44(1), Article 7. <https://doi.org/10.1186/s40101-025-00387-6>
- Walløe, L. (2016). Arterio-venous anastomoses in the human skin and their role in temperature control [Article]. *Temperature*, 3(1), 92-103. <https://doi.org/10.1080/23328940.2015.1088502>
- Wang, F., Gao, C., Kuklane, K., & Holmér, I. (2010). A review of technology of personal heating garments [Article]. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 16(3), 387-404. <https://doi.org/10.1080/10803548.2010.11076854>
- Wang, J., Guetta-Jeanrenaud, N., Palacios, J., Fan, Y., Kakkar, D., Obradovich, N., & Zheng, S. Unequal impacts of rising temperatures on global human sentiment. *One Earth*. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2025.101422>
- Weller, A. S., Linnane, D. M., Jonkman, A. G., & Daanen, H. A. M. (2007). Quantification of the decay and re-induction of heat acclimation in dry-heat following 12 and 26 days without exposure to heat stress [Article]. *European journal of applied physiology*, 102(1), 57-66. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0563-z>
- Weller, R. S., Buczny, J., & Daanen, H. A. M. (2025). Cold Induced Vasodilation – A Meta-analysis *Temperature (in review)*.
- Zwaag, J., Naaktgeboren, R., Van Herwaarden, A. E., Pickkers, P., & Kox, M. (2022). The Effects of Cold Exposure Training and a Breathing Exercise on the Inflammatory Response in Humans: A Pilot Study [Article]. *Psychosomatic Medicine*, 84(4), 457-467. <https://doi.org/10.1097/PSY.0000000000001065>

