

■ Skabt i Hans billede ...

Kroppens temperaturregulering

af Randy J. Guliuzza, P.E., M.D.

Oversat af Holger Daugaard

Et vigtigt resultat af designingeniørers arbejde er at bygge præcise kontrolmekanismer for aktive processer. Liv afhænger af den præcision som visse processer opretholdes med, såsom fremstilling af medicin.

Endnu mere afgørende for overlevelse er den menneskelige krops komplekse, integrerede system der sikrer præcis kontrol over kroppens temperatur, selv når det genererer enorme mængder af indre varme ved anstrengende aktivitet eller er udsat for omfattende, eksterne temperaturer.

Temperaturregulering er afgørende for liv

Organerne i kranium, bryst og underliv er de mest temperaturfølsomme i den menneskelige krop. Biokemiske processer, især enzymaktiviteter i disse organer, er afgørende for liv og fungerer bedst i et snævert temperaturområde mellem 35,6-38,3 °C som er selve kroppens temperaturområde. (Den såkaldte *kernetemperatur* referer til den del af kroppen som ikke er arme, ben, hoved eller hud; måles helst rektalt. Red.) For de fleste mennesker er gennemsnitstemperaturen 36,7 °C, som er regulatorpunktet for hovedregulatoren i hjernen – hypotalamus.

Hvis kernetemperaturen varierer med omkring 5 °C over eller under det nævnte interval, er det dødens farligt. Hvorfor? For hver grads kernetemperaturen stiger, øges reaktionshastigheden i kroppens fysiologiske processer med 10 procent. Og når temperaturerne stiger uden for normalområdet, begynder proteiner – især enzymer – at miste både deres form og funktion, mens nervevævs aktivitet falder i faretruende grad. Små børn risikerer at gå i krampe ved omkring 41 °C, og de fleste mennesker vil være døde hvis kernetemperaturen når knap 43 °C. Modsat, hvis kernetemperaturen kommer under 30,6 °C, vil den elektrokemiske aktivitet i hjertet blive så forstyrret at de fleste mennesker vil dø af hjertestop.

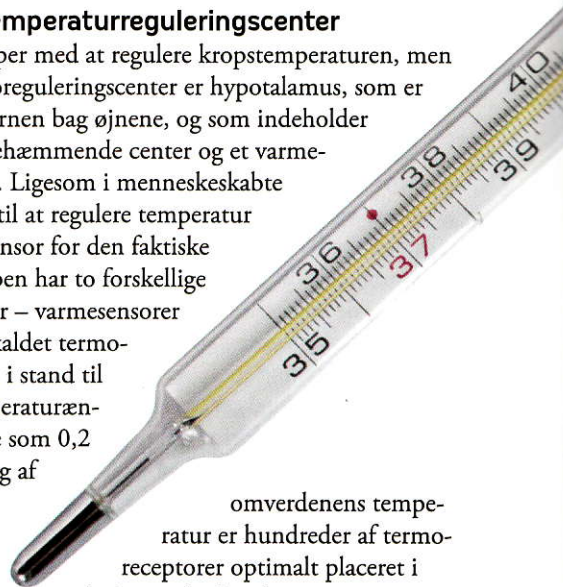
Det er af afgørende betydning at kropstemperaturen afbalanceres i kroppens kerne. Dog kan betydningen af denne opgave ikke vurderes uden at betragte den mængde varmeenergi kroppen har brug for. Hvor meget varme kan en person generere? Selv mens man sover, når skeletmuskulaturen er helt afslappet, producerer man stadig varme som biprodukt af det basale stofskifte. Denne varme svarer til at 15 liter vand kunne opvarmes 1 grad pr time.

Når kroppen er aktiv, er der tale om meget større varmeudskillelse. For hver times hårdt arbejde eller motion kan den genererede varme hæve temperaturen af de førnævnte 15 liter vand næsten 8 °C – og veltrænede atleter kan producere næsten dobbelt så meget varme som dette. Et øget niveau af varmeproduktion varer flere timer, selv efter aktiviteten ophører. Nogle ingeniører hævder at kontorer bygget med optimal energieffektivitet ville kunne opvarmes om vinteren alene ved brug af kontorpersonalets egen kropsvarme. Afhængigt af det eksterne miljø der omgiver en person, kan

den frembragte varme være en ven eller fjende – men den skal være præcist reguleret.

Et integreret temperaturreguleringscenter

Hele hjernen hjælper med at regulere kropstemperaturen, men det vigtigste termoreguleringscenter er hypotalamus, som er placeret midt i hjernen bag øjnene, og som indeholder to centre: et varmhæmmende center og et varmfremmende center. Ligesom i menneskeskabte systemer designet til at regulere temperatur skal der være en sensor for den faktiske temperatur. Kroppen har to forskellige specialiserede celler – varmesensorer og kuldesensorer kaldet termoreceptorer – der er i stand til at opdage en temperaturændring der er så lille som 0,2 °C. Til overvågning af



omverdenens temperatur er hundreder af termoreceptorer optimalt placeret i huden, i slimhinder i næse og mund, i øjne, og i nogle muskler.

Sensorerne sender impulser til hjernen, og afhængigt af graden af temperaturforandringer og impulsernes hastighed modtager den op til 240 impulser per sekund pr receptor. Data fra disse sensorer organiseres ved at holde dem adskilt fra andre inputs der sendes til hjernen via særlige veje i nervesystemet.

Dataene bliver løbende analyseret af hypotalamus og konverteres til informationer der står i forhold til en forudindstillet "bank" af informationer der er til stede fra fødslen. Disse informationer sætter hypotalamus i stand til at tage højde for temperaturændringer i miljøet som kunne påvirke kernetemperaturen. Den aktuelle kernetemperatur overvåges af hypotalamus selv ved hjælp termoreceptorer der måler blodets temperatur i dette organ.

Eliminering af overskudsvarme

Det varmhæmmende center og det varmfremmende center kontrollerer begge kroppens systemer der reguleres for at holde en stabilitet, så varmeudskillelse svarer til varmetab. Når ét center bliver stimuleret, sendes samtidig et hæmmende signal til det andet center. Så når det er varmt uden for – eller fysisk anstrengelse hæver kropstemperaturen over det indstillede punkt – aktiveres det varmhæmmende center først og sender signal til de bittesmå muskelfibre der sidder i blodkar i huden. Dette nedsætter muskelspændingen, så blodkarrene udvides og fyldes med varmt blod der ledes væk fra kropskernen. Huden fungerer som en kæmpe radiator der bortleder kropsvarme og overfører den til køligere dele af kroppen eller afgiver den som strålevarme.

Der bruges til stadighed kropsvarme til at omdanne flydende vand til vanddamp for at regulere kropskernens

temperatur. Både lungerne og huden udveksler hver næsten en halv liter vand om dagen for at køle kroppen bare til kroppens basale behov. Når en stor varmeoverførsel er nødvendig, kan svedkirtler på huden aktiveres massivt til at dække huden med meget små dråber som let kan fordampe. Denne metode fungerer godt, fordi fordampning af vand fjerner op til ti gange mere varme end vand der blot løber ud i store dråber fra huden. En varmestresset person kan potentielt fordampe op til to liter sved fra huden i timen.

Opretholdelse af nødvendig varme

Når kolde forhold truer med at sænke kernetemperaturen, igangsætter det varmefremmende center tiltag for at bevare den varme der er produceret, og producere mere varme hvis det er nødvendigt. Først sendes et signal til muskelfibrene omkring blodkarrene i huden, så de snører sig sammen og mindsker blodstrømmen. Dette reducerer det helt store varmetab, og det varme blod bibeholdes i de dybe områder af kroppen, mens hudtemperaturen begynder at nærme sig det eksterne miljøtemperatur.

Hvis der er behov for mere varme, stiger det interne stofskifte. En hurtig stigning i cellernes stofskifte påbegyndes når hypothalamus sender et nervesignal til binyrerne der sidder øverst på nyrerne. En hurtig produktion af hormoner fra disse kirtler, kaldet adrenalin, forøger cellernes forbrænding af sukker for at give varme. En langsommere effekt opnås når skjoldbruskkirtlen stimuleres med en efterfølgende frigivelse af thyreoidea-hormon der øger det samlede stofskifte.

Varme kan produceres hurtigt ved en forøgelse i muskelspænding. Ved at sende de rigtige neurologiske signaler trækkes muskelfibrene hurtigt mod hinanden i en ufrivillig gentagen cyklus – det vi kalder kuldegysninger. På bare et par minutter kan denne proces hæve varmeproduktionen til over fire gange det normale niveau.

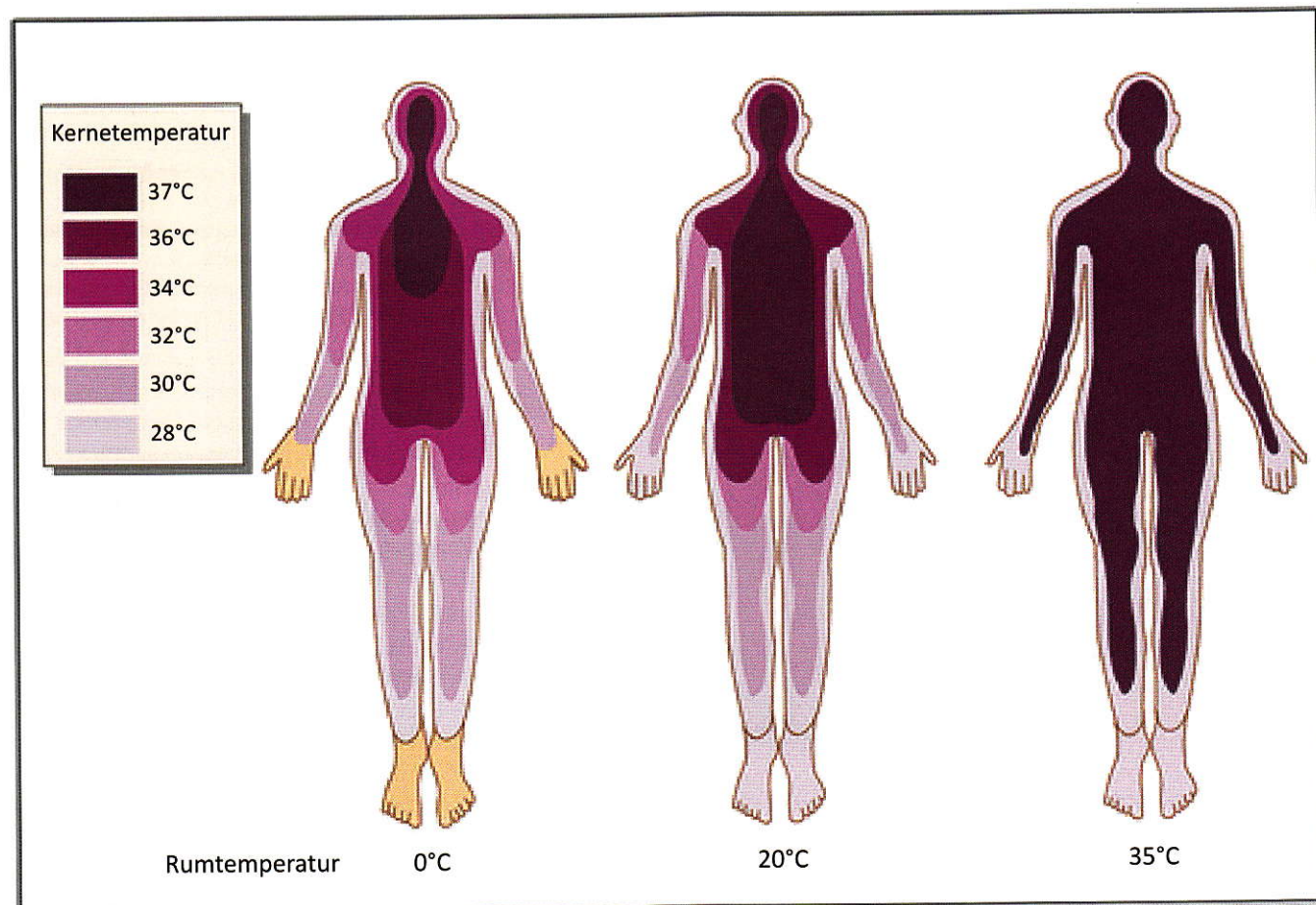
Konklusion

Utroligt som alle de omtalte processer arbejder sammen for at holde en persons kernetemperatur inden for 1 °C over en 24-timers periode! Forskellige grupper af mennesker har dertil også nogle medfødte evner, så de kan tilpasse sig forskelligt klima over flere generationer. Det sker gennem selektion af variable træk som fx det basale stofskifte, hudfarven, fedttrykkelser og adfærdspåvirkninger.

Informationerne om disse forhold og alle de termoreguleringsprocesser som her er omtalt, kunne aldrig være blevet opbygget gradvist gennem lange evolutionære processer. Hvis kroppens overlevelse skal sikres, skal termoreguleringen være 100 procent på plads og fungere. Som artiklen har gennemgået det, omfatter termoreguleringen næsten alle systemer i kroppen. ■

Kilden til denne artikel (hvor også litteraturhenvisningerne kan findes):

Gulizzza, R. J. 2009. Made in His Image: Balancing Body Temperature. *Acts & Facts*. 38 (4): 8.



Rentegning: Grove