



Thermoregulatie in het menselijk lichaam

Het lichaam streeft altijd naar homeostase. Het interne milieu moet binnen bepaalde grenzen blijven, wil het lichaam kunnen blijven functioneren. Factoren in het lichaam die constant moeten blijven zijn onder andere de glucosespiegel, de pH, de osmotische waarde, het zuurstofgehalte in het bloed en de temperatuur. In dit artikel wordt de temperatuurregulatie beschreven. De mens is in staat om de lichaamstemperatuur constant te houden in een omgeving met wisselende temperaturen. Fascinerende processen, zoals vasoconstrictie, vasodilatatie, transpireren, spierspanning en metabolisme zijn hiervoor verantwoordelijk. Bij dit alles speelt de hypothalamus de hoofdrol.

SITA SPLINTER-OOSTRA, hoofd zorggroep Interne geneeskunde en oncologie, Zuwe Hofpoort Ziekenhuis, Woerden
BARBERA SPLINTER, student geneeskunde, VUmc, Amsterdam

LEERDOELEN

Na het lezen van dit artikel weet/kunt u:

- wat temperatuurregulatie, de kern- en schiltemperatuur is;
- hoe temperatuurregulatie bij koude en warmte in zijn werk gaat;
- oorzaak en verschijnselen benoemen van hypothermie en hyperthermie;
- oorzaak, verschijnselen en interventies benoemen bij koude rilling en koorts.

TREFWOORDEN

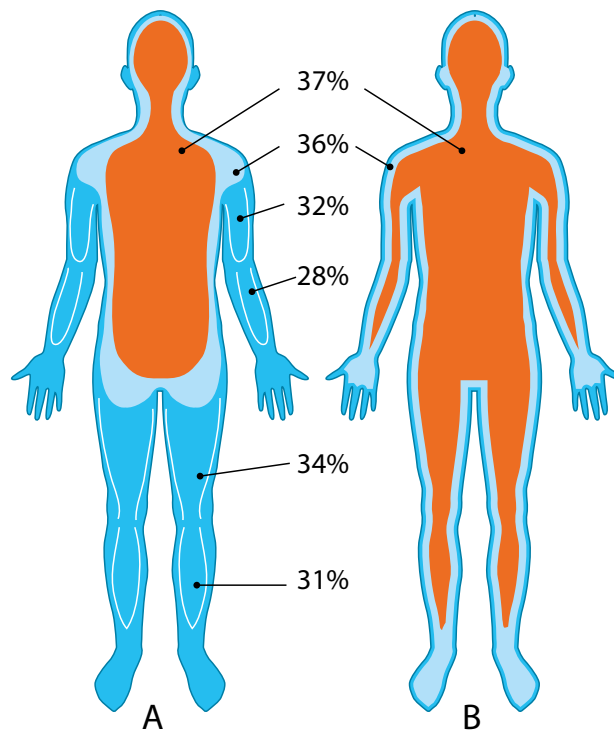
lichaamstemperatuur, vasoconstrictie, vasodilatatie, radiatie, conductie, convectie, evaporatie, hypothermie, hyperthermie, koorts, koude rilling

1 STUDIEPUNT

DE KERN- EN SCHILTEMPERATUUR

Het constant houden van de temperatuur is van belang om zenuwschade en denaturatie van eiwitten te voorkomen. Het lichaam produceert warmte, neemt warmte op en geeft warmte af. Er is een warmtebalans indien de warmteafgifte gelijk is aan de som van warmteproductie en warmteopname. De lichaamstemperatuur wordt ook wel gedefinieerd als de balans tussen de warmte die wordt geproduceerd door het lichaam en de warmte die het lichaam verliest. Het lichaam kent twee verschillende temperaturen:

de kerntemperatuur en de schiltemperatuur. De kerntemperatuur is de temperatuur die met kleine schommelingen redelijk constant blijft, ondanks de veranderingen in de omgevingstemperatuur. De schiltemperatuur is de temperatuur van het lichaam die niet constant blijft en zich aanpast aan de veranderingen in de omgevingstemperatuur. De kerntemperatuur is de temperatuur die heerst in voornamelijk de romp en het hoofd (dus de vitale organen). Logischerwijs volgt dan dat de schiltemperatuur te vinden is in de extremiteiten. Daarnaast behoren het onderhuids bindweefsel, de oppervlakkige spieren en de huid tot de gebieden met de schiltemperatuur. Door de aanpassingen die in de schiltemperatuur plaatsvinden, kan de schil variëren in 'dikte'. De lichaamschil is dus een soort isolator met een variabele dikte. Zoals eerder gezegd, is de kerntemperatuur redelijk constant, de temperatuur verandert iets in reactie op veranderingen in de omgeving en op bepaalde activiteiten. De schommeling bedraagt hooguit 1 graad Celsius (°C), bij een gezonde patiënt. Er zijn ook schommelingen in de dag- en nachttemperatuur: in de nacht is de kerntemperatuur het laagst, en aan het begin van de avond is hij het hoogst. Vrouwen hebben tijdens hun menstruatie een iets verhoogde kerntemperatuur, de verhoging treedt meestal in het tweede gedeelte van de menstruatieperiode op door de effecten van progesteron.



Figuur 1 Temperatuurgebieden van het menselijk lichaam in A) een koude omgeving en B) een warme omgeving.

REGELING VAN DE TEMPERATUUR

Het verschil tussen kern- en schiltemperatuur wordt de deltatemperatuur genoemd, meestal is deze 1,5 graad Celsius. Als de deltatemperatuur zakt of hoger wordt dan heeft dit invloed op het perifere bloedvatstelsel: dit zal proberen het verschil te compenseren. Bij extreme stijging of daling kan het perifere bloedvatstelsel niet meer compenseren met als gevolg perifere circulatoire insufficiëntie. Zolang de verschillen klein zijn, kan het perifere bloedvatstelsel goed compenseren.

Het perifere vatenstelsel reageert door vasodilatatie en vasoconstrictie: het verwijden en vernauwen van de vaten. Vasoconstrictie zal optreden bij sterke afkoeling, onderkoeling en hypovolemie. Bij vasoconstrictie neemt het warmtetransport naar de schil af (schil wordt dus dikker, er gaat minder bloed naar de schil, huidtemperatuur wordt lager). Vasodilatatie treedt op in een zeer warme omgeving, bij warmtestuwing en hyperthermie. Hier dreigt het gevaar van het ontstaan van hypovolemie (doordat de vaten verwijd zijn, is er meer oppervlak, terwijl het volume gelijk blijft). Bij vasodilatatie neemt het warmtetransport (bloed) naar de schil juist toe, de schil wordt dus dunner en de huidtemperatuur hoger.

Om dit alles tot stand te brengen gebruikt het lichaam meerdere mechanismen: radiatie/straling, conductie/geleiding, convectie/stroming, evaporatie/verdamping en respiratie/ademhaling. Al deze vijf mechanismen spelen een rol bij *warmteafgifte* (onder bepaalde omstandigheden spelen radiatie, conductie en convectie bij warmteopname een rol). In rust en bij kamer-

temperatuur komt de warmteafgifte grotendeels tot stand door radiatie en verdamping (zie kader).

De *warmteproductie* hangt ook af van het *metabolisme* van de cellen dat weer beïnvloed wordt door spieractiviteit, het zenuwstelsel en verschillende hormonen (adrenaline, thyroxine).

Daarnaast spelen *gedragmatige factoren* een rol. Als de omgevingstemperatuur afneemt, verliest het lichaam meer warmte, de lichaamstemperatuur neemt af, het lichaam reageert door ineen te duiken; iemand krult zich helemaal op, trekt warmere kleren aan, zet de verwarming hoger of gaat naar een warmere omgeving.

TEMPERATUURREGULATIE BIJ KOUDE

Regulatie van de temperatuur vindt plaats vanuit de hypothalamus. Het achterste gedeelte van de hypothalamus wordt ook wel het koudecentrum genoemd. De hypothalamus ontvangt informatie langs twee kanten: receptoren in de hypothalamus zelf die de temperatuur van het langsstromende bloed monitoren en via koudereceptoren die zich in de huid bevinden. Van hieruit bereiken actiepotentialen via afferente vezels de hypothalamus. Het thermoregulatiecentrum in de hypothalamus zendt op basis van deze metingen signalen via efferente vezels uit die zorgen voor aanpassingen in het lichaam.

Het handhaven van de lichaamstemperatuur betekent dat in rusttoestand het warmteverlies gelijk moet zijn aan de warmteopname en warmteproductie.

Cortex cerebri (hersenschors)

In de hersenschors wordt de informatie ontvangen, geanalyseerd en geïnterpreteerd. Deze geïnterpreteerde informatie wordt omgezet in gedachten en in spreken en handelen. De activiteit uit de afferente vezels veroorzaakt een koudegevoel. Dit koudegevoel zorgt ervoor dat er bewust maatregelen genomen worden, bijvoorbeeld een extra vest aandoen, dicht bij elkaar kruipen.

Formatio reticularis (bewustzijnscentrum)

Bij kou wordt de formatio reticularis geactiveerd, wat zorgt voor stimulatie van de hersenen en het ruggenmerg, waar de neuronen en de zintuigbanen van de hersenen naar de organen en spieren doorheen lopen. De kracht die de spier in rust uitoefent op aanhechtingsplaatsen zal toenemen, waardoor onwillekeurige bewegingen als rillen en klappertanden ontstaan. Beide zijn vormen van spierbewegingen die weinig rendement en veel warmteproductie hebben.

Sympathicus (vooral adrenerge deel)

Het sympathisch zenuwstelsel wordt geactiveerd, wat de volgende effecten heeft:

- activering van het metabolisme van vetweefsel (vooral bruin vetweefsel);
- toename van adrenalineconcentratie, doordat het bijnierring geactiveerd wordt. Het metabolisme in lever-, vet- en spierweefsel wordt verhoogd en er zal vasoconstrictie in de huid plaatsvinden (dikte van de schil neemt toe);
- vasoconstrictie in de periferie (ondersteund door effect van adrenaline) dus minder warmtetransport naar de schil toe, geeft dalende temperatuur van de lichaamsschil dus minder warmteafgifte aan de omgeving;
- pilo-erectie oftewel kippenvel, bij mensen is dit minder functioneel, bij dieren nog wel. Hierdoor wordt de isolatie in de huid verhoogd door het rechtop zetten van de dikke vachtharen.

Hypofyse-schildklier

De hypofyse zet de schildklier aan tot de productie van meer thyroxine. De thyroxine zorgt er weer voor dat metabolisme in de weefsels gestimuleerd wordt. De balans wordt dus zo snel mogelijk hersteld door alles in het werk te stellen om de warmteproductie te verhogen en de warmteafgifte te verminderen.

TEMPERATUURREGULATIE BIJ WARMTE

Bij kouderegulatie staat het metabolisme voorop, terwijl er bij warmteregulatie gebruik wordt gemaakt van meer fysische mechanismen (straling, geleiding en verdamping). De hypothalamus speelt bij deze regulatie wederom een grote rol, nu met behulp van het voorste deel van de hypothalamus, het warmtecentrum. De sensoren in de huid worden gestimuleerd door opwarming van de huid en het bloed wordt verwarmd.

MECHANISMEN BIJ WARMTEAFGIFTE EN -OPNAME

Radiatie: het opnemen of afstaan van warmte door middel van elektromagnetische golven. De lichaamstemperatuur neemt bijvoorbeeld toe als het lichaam zich in de zon bevindt; het lichaam absorbeert de elektromagnetische energie die wordt geleverd door de zon.

Conductie: het opnemen of afstaan van warmte door direct contact met hetere of koudere substanties. Dat kan water of lucht zijn of een glas hete thee, dat koude handen warmt. Niet alle substanties zijn even goede geleiders. Zo is water een betere geleider dan lucht.

Convectie: het opnemen of verliezen van warmte door stroming is afhankelijk van de grootte van het oppervlak van uitwisseling. Het oppervlak wordt bepaald door dilatatie of constrictie van de bloedvaten in de huid.

Evaporatie: het afgeven van warmte door verdamping. Een voorbeeld van warmteverlies door evaporatie is transpireren. De transpiratiedruppeltjes op de huid verdampen door middel van de warmte van de huid, hierdoor treedt verkoeling op.

Respiratie: verdamping van vocht door ademhaling.

De actiepotentialen stimuleren de warmtecentra in de hypothalamus en de verhoogde bloedtemperatuur zorgt ervoor dat centrale sensoren worden geactiveerd. Dit resulteert in de volgende maatregelen.

Cortex cerebri

De activiteit van de afferente vezels komt ook in de hersenschors terecht en veroorzaakt een warmtegevoel. Er worden bewust maatregelen genomen zoals kleding uitdoen, breeduit liggen (oppervlak vergroten), minder bewegen, etc.

Formatio reticularis

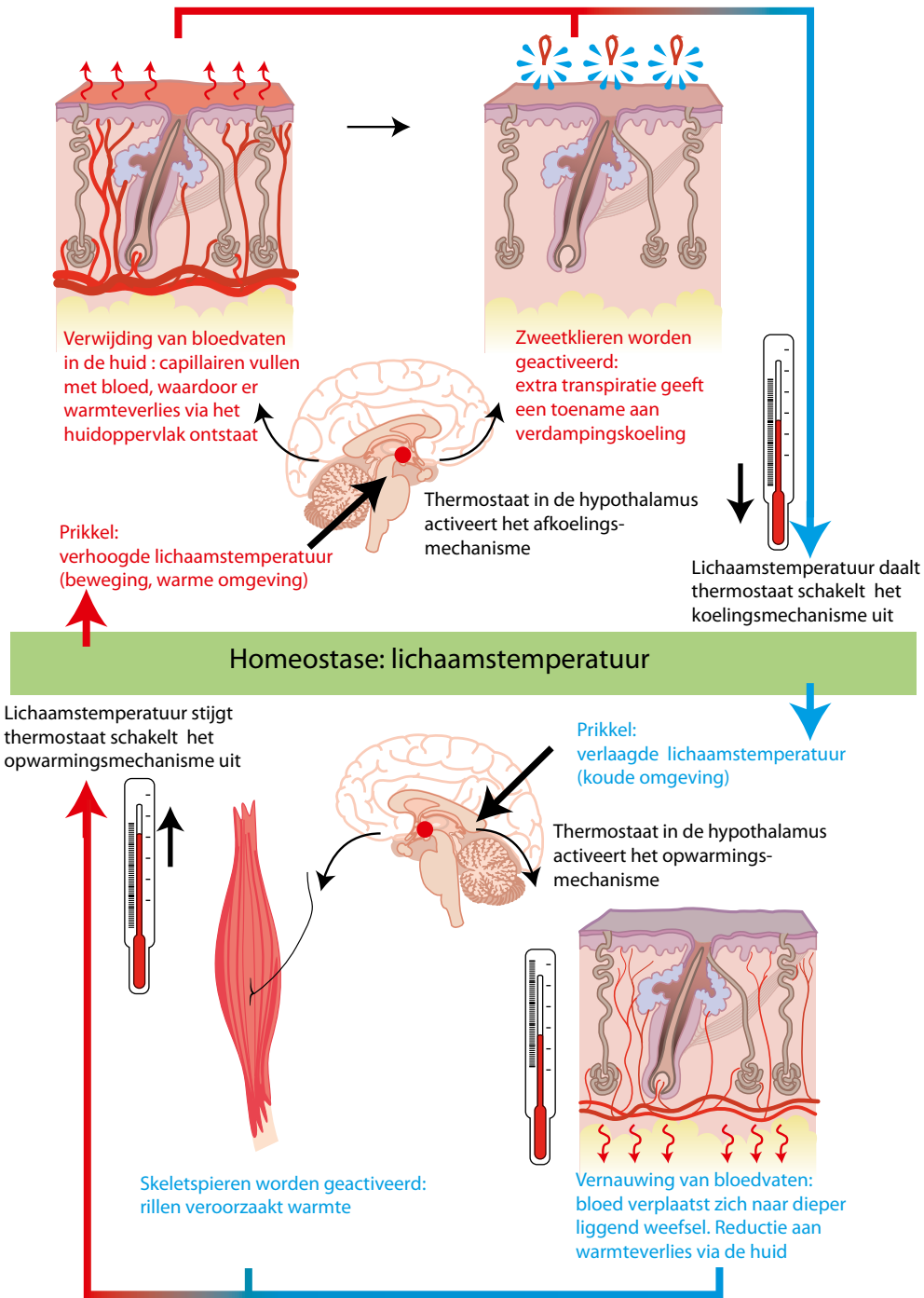
De tonus van de spieren wordt verlaagd.

Sympathicus (vooral cholinerge deel)

Postganglionaire vezels stimuleren vasodilatatie en zweetsecretie. Door de vasodilatatie wordt de schil dunner. Er wordt meer bloed/warmte van de kern naar de schil getransporteerd, er is een verhoogde werking van het hart. De huidtemperatuur zal stijgen, waardoor warmteafgifte via straling en geleiding toeneemt (zie kader hiervoor). Door de toegenomen zweetsecretie vindt er via toegenomen transpiratie afkoeling plaats. Een voorwaarde is wel dat het transpiratievocht kan verdampen (evaporatie), de omgevende lucht mag dan niet te veel waterdamp bevatten.

Schildklier en bijnierring

De schildklier en het bijnierring worden minimaal



Figuur 2 Schema lichaamstemperatuurregulatie.

geactiveerd, maar net genoeg om een basaal metabolisme in stand te houden. Alle maatregelen worden dus genomen om zoveel mogelijk warmte af te geven en de warmteproductie zo gering mogelijk te houden.

HYPERTHERMIE

Bij hyperthermie produceert het lichaam meer warmte dan dat er wordt afgegeven aan de omgeving, waardoor de lichaamstemperatuur stijgt. Of het lichaam neemt meer warmte op zoals bijvoorbeeld in de sauna of in de woestijn in felle zon. Bijvoorbeeld bij een lichamelijke

inspanning in een zeer warme omgeving. De warmteafgifte verloopt te traag. Er kan een hitteberoerte ontstaan, ook wel warmtestuwing of zonnesteek genoemd. Een hitteberoerte ontstaat, doordat de lichaamstemperatuur tot wel 41 graden Celsius stijgt en mensen niet meer in staat zijn om te transpireren. Door de stijgende lichaamstemperatuur werken de regelcentra niet goed meer en daarom is deze situatie dan ook levensbedreigend. Er treden krampen en stuip trekkingen op en iemand verliest het bewustzijn. Er kan ook hitte-uitputting ontstaan: door de hitte transpireert het lichaam zeer

sterk. Dit kan resulteren in dehydratie en een zouttekort.

HYPOTHERMIE

We spreken van hypothermie als de lichaamstemperatuur tot onder de 35 graden Celsius daalt. Bij een temperatuur onder de 30 graden is er sprake van zeer ernstige onderkoeling.

Bij hypothermie kan het lichaam niet genoeg warmte produceren of opnemen om de lichaamstemperatuur op ongeveer 37 graden Celsius te houden. Dit gebeurt bijvoorbeeld als iemand lang in koud water ligt of op een natte ondergrond.

Oorzaken van hypothermie kunnen zijn:

- afname van warmteproductie door ziekte, bijvoorbeeld aan de schildklier, medicatie, niet-bewegen en ouderdom;
- toename van warmteafgifte door natte kleren, dunne kleren, brandwonden, vasodilatatie;
- gestoorde regulatie door verdovende middelen (zoals alcohol) of ouderdom;
- koude omgevingsfactoren: koude wind, koud water en lage temperatuur.

De verschijnselen hangen af van het aantal graden dat de temperatuur is gezakt. De meest voorkomende symptomen zijn: rillen, blauw zien, bewustzijnsdaling, bewusteloos, trage hartslag, trage ademhaling, koude huid, vermoeidheid, uitputting, traagheid, agressie, stijfheid.

Hoe te behandelen? Probeer natte kleren uit te trekken, maar niet bij ernstige onderkoeling (i.v.m. beschadigen van de huid). Het belangrijkste is het slachtoffer helemaal in te pakken in dekens, essentieel is het inpakken van het hoofd en de voeten.

Te snelle opwarming bij ernstig onderkoelde patiënten is niet wenselijk. Door opwarming gaan de perifere bloedvaten openstaan, waardoor een groot deel van het bloedvolume daarheen zal gaan, om de mogelijk ontstane schade te herstellen. Dit gaat ten koste van het vochtvolume in de kern, waardoor een hypovolemische shock kan ontstaan.

KOORTS

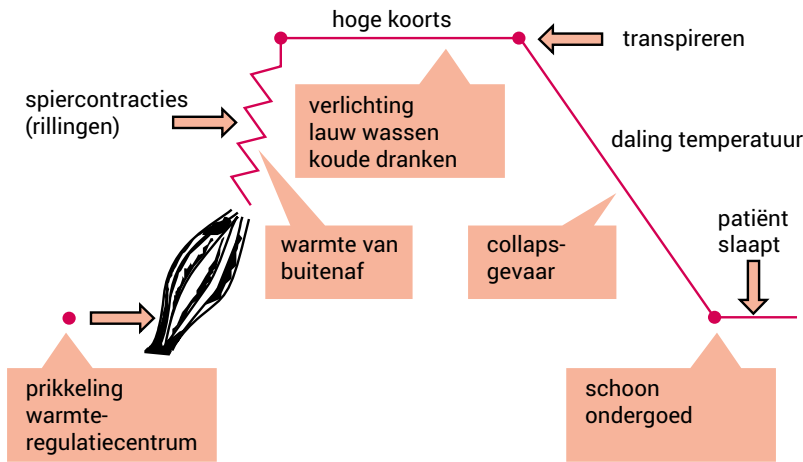
Koorts kan worden veroorzaakt door exogene (van buitenaf) pyrogenen/toxinen zoals bacteriën, virussen en geneesmiddelen. Koorts kan ook worden veroorzaakt door endogene (van binnenuit) pyrogenen/toxinen na weefselbeschadiging, bij een maligniteit, trombose, embolie en door de afbraak van witte bloedlichaampjes. Deze pyrogenen zorgen ervoor dat het instelpunt van de lichaamstemperatuur hoger komt te liggen, de thermostaat (de hypothalamus) van het lichaam wordt hoger gezet. Verder verloopt de temperatuurregeling hetzelfde, er wordt alleen van een hoger instelpunt uitgegaan. Dehydratie kan ook koorts

veroorzaken, doordat er minder transpiratie mogelijk is. De (extra) warmte is nodig om alle afweerreacties beter te kunnen laten verlopen, koorts is dus noodzakelijk. Bij koorts neemt het lichaam allerlei maatregelen om de warmteproductie op te voeren en de warmteafgifte te beperken. De temperaturen die voor de patiënt onder normale omstandigheden aangenaam waren, worden nu als koud ervaren. Dit heeft tot gevolg dat de patiënt met koorts het koud heeft. De verschuiving van het instelpunt veroorzaakt een verschuiving van de grenzen van wat mensen als koud ervaren. Wanneer het nieuwe instelpunt is bereikt, komt warmteafgifte weer op gang door vasodilatatie en radiatie (rode droge huid). Is de koorts voorbij dan is het instelpunt weer normaal en vindt er weer warmteafgifte plaats door evaporatie. Verschijnselen van koorts, afhankelijk van de oorzaak, zijn onder andere ervaren van een koud gevoel, rillingen, rode huid, zweten, gloeiende en rode wangen, warm voorhoofd, klappertanden, koude voeten, woelen, stuipen, ijlen en in sommige gevallen dehydratie.

FEITEN

- Bij extreme koude kan perifere vasoconstrictie tot bevrozing van ledematen leiden. Na tien minuten treedt er echter een korte vasodilatatie op: cold induced vasodilation (CIVD). Deze CIVD is te trainen. Zo kunnen bijvoorbeeld de Eskimo's koude langer trotseren zonder bevrozingsverschijnselen.
- Bijzonder is dat de sympathische reacties ook lokaal kunnen optreden, bijvoorbeeld bij afkoeling van één arm. Er treedt dan uitsluitend in deze arm vasoconstrictie op.
- Een lage temperatuur is voor sommige microben, zoals parasieten en virussen, een ideale omstandigheid om zich te vermeerderen.
- In een warm vochtig omgevingsklimaat faalt het verdampingsmechanisme, er kan dan warmtestuwing ontstaan. Dit kan zelfs zo heftig zijn dat er warmte wordt opgenomen.
- Een lichaamstemperatuur boven de 45 graden en onder de 23 graden zijn meestal niet met het leven te verenigen.
- Febris e.c.i. (e causa ignota; met onbekende oorzaak) is koorts die minstens drie weken bestaat en waarvoor geen verklaring gevonden is.
- Bij het meten van de temperatuur in het oor, wordt de temperatuur van de bloedstroom in het trommelvlies gemeten. Dit is dezelfde bloedstroom die de hypothalamus van bloed voorziet.
- Kleine kinderen hebben minder zweetklieren, maar dit wordt gecompenseerd door een groter verdampingsoppervlak in vergelijking met volwassenen

Verloop koude rilling



Figuur 3 Schematisch overzicht van koude rilling.

Koude rilling

Verpleegkundigen zullen in de praktijk regelmatig een patiënt met een koude rilling tegenkomen. Een koude rilling vindt plaats bij een snelle stijging van de lichaamstemperatuur. Het instelpunt wordt snel verhoogd. De koude rilling komt vaak voor bij pyelonefritis, sepsis of een abces. De koude rilling bestaat uit drie fases:

1. Een snelle temperatuurstijging, waardoor men gaat rillen van de kou: de patiënt krijgt extra dekens en een kruik.
2. Fase van hoge koorts, een stabiele temperatuur: de extra dekens worden weer weggehaald.
3. Tijdens de laatste fase daalt de temperatuur, de patiënt zal heftig gaan transpireren. Het is het einde van de koorts, het instelpunt is gedaald, de lichaamstemperatuur is nog wel te hoog en de warmte wordt afgegeven door middel van evaporatie en vasodilatatie.

TEMPERATUURREGULATIE BIJ DE OUDERE PATIËNT

Bij ouderen is het vermogen om een verstoring van de temperatuurbalans te herstellen vaak vertraagd/verminderd. Temperatuurverschillen worden door ouderen minder goed waargenomen. Bij koude zijn zij slechter in staat hun warmteproductie te verhogen, bij warmte krijgen zij sneller last van de gevolgen van de hitte. Ouderen transpireren minder en de reservefunctie van hart en longen is vaak afgenomen. Hun dorstgevoel is minder, waardoor er minder vochtintake plaatsvindt, dus eerder kans op dehydratie. Indien er sprake is van een verminderde hartfunctie, kan er een effect optreden dat contraproductief is voor de thermoregulatie bij warmte. Het hart moet harder werken om doorbloeding naar de huid en vitale organen mogelijk te maken. Indien er zuurstofgebrek dreigt voor

de hartspier, treedt er activering op van het sympathisch zenuwstelsel. Gevolg is vasoconstrictie van de bloedvaten, zodat hart en vitale organen meer bloed krijgen, en de hartfunctie gestimuleerd wordt. Hierdoor kan warmte dus minder goed afgegeven worden aan de omgeving.

GENEESMIDDELEN EN TEMPERATUURREGULATIE

Geneesmiddelen kunnen de temperatuurregulatie op de volgende manieren beïnvloeden: de waarneming van een stijgende temperatuur, de verwerking en de respons hierop door warmteafgifte. Sommige middelen hebben invloed hebben op het verlies van vocht en zouten (dus invloed op de mate van kunnen transpireren), zoals de diuretica en laxantia. Anticholinergica hebben een remmende invloed op transpireren. Middelen die vaatvernauwing veroorzaken, zorgen ervoor dat de huiddoorbloeding niet kan toenemen (vasodilatatie minder goed mogelijk). Bètablokkers die een vermindering van het hartminuutvolume veroorzaken, beïnvloeden de temperatuurregulatie eveneens. Bepaalde antipsychotica blokkeren de temperatuurregulatie in de hypothalamus. Samenvattend, geneesmiddelen kunnen invloed hebben op het circulerend bloedvolume, de elektrolytenbalans en de hartfunctie. Adviezen om te zorgen voor voldoende vocht- en zoutintake, vermijden van de zon etc. zijn dus zeker nodig. ■

normale temperatuur	> 36,5 en < 37,5 °C
pyrexie/febris/koorts	> 38 °C
hypothermie	< 35 °C
hyperpyrexie	> 41 °C
subfebriële temperatuur	37,5 - 38 °C