

7.3 Invloed (koude) klimaat op prestaties

Een mens kan alleen functioneren als de temperatuur van de vitale lichaamsdelen (hart, longen, hersenen) rond de 37°C is. Wordt de kerntemperatuur hoger, dan spreekt men van hyperthermie. Tijdens inspanning is het stijgen van de temperatuur een normale zaak. Er zijn kerntemperaturen gemeten van > 40°C bij zware inspanning in de hitte.

Wordt de temperatuur in de kern lager dan 37°C dan wordt gesproken van hypothermie, onderkoeling. De mens probeert weerstand te bieden door te rillen. Als de kerntemperatuur lager is dan ongeveer 33°C, dan stopt het rillen en gaat verdere onderkoeling extra snel. Bij kerntemperaturen van ongeveer 30°C kunnen risicovolle hartritmestoornissen optreden.

Warmtebalans

Om de kerntemperatuur rond de 37°C te houden, heeft de mens enkele middelen ter beschikking. Hij kan warmte produceren en warmte afgeven. Als er meer wordt geproduceerd dan afgegeven, dan treedt warmteopslag op. De kerntemperatuur zal stijgen. Als er meer warmte wordt afgegeven dan geproduceerd, dan treedt afkoeling op. Voordat de kerntemperatuur daalt, wordt eerst de temperatuur van de 'schil' daar rondom heen lager.

Warmteproductie

De hoeveelheid warmte die wordt geproduceerd door een mens is gelijk aan het metabolisme (stofwisseling) minus het extern geleverde vermogen. Als iemand bijvoorbeeld tijdens fietsen een metabolisme heeft van 1000W en een vermogen levert van 200W, dan is de netto warmteproductie gelijk aan 800W. Een mens produceert veel warmte door arbeid. Rillen (onbewuste spiercontracties) is ook een manier om warmte te produceren. Bij lichte onderkoeling levert rillen een verdubbeling van de warmteproductie op. In extreme gevallen kan dit verviervoudigen. Als je tijdens een lichamelijke inspanning gaat rillen betekent dit, dat je lichaam te weinig warmte produceert door arbeid en probeert dit te compenseren door rillen. Om dit op te heffen is een verhoogde inspanning of extra isolatie noodzakelijk.

Indeling van metabolisme volgens ISO/FDIS 8996 (2003) Waarden zijn uitgedrukt in Watts.

Klasse	Energieverbruik	Metabolisme (Watts)	Voorbeelden
0	Rusten	115	Rusten
1	Laag	180	Schrijven, autorijden, staand werk, lopen < 3km/u
2	Middelmatig	295	Besturen tractor, stukadoren, wieden, lopen 3,5 tot 5,5 km/u
3	Hoog	415	Intensieve arm- en romparbeid, zagen, lopen van 5,5 tot 7 km/u
4	Zeer hoog	520	Spitten, traplopen, lopen > 7 km/u

Warmteafgifte

De mens geeft op vier manieren warmte af aan de omgeving:

Geleiding

Contact met koude omgeving of koude voorwerpen. Warmteafgifte is afhankelijk van warmteweerstand, soortelijke warmte, dichtheid, oppervlakte en druk. Straling en verdamping zijn de belangrijkste mechanismen voor warmteverlies in de lucht.

Geleiding zorgt voor de meeste warmteafgifte tijdens onderdompeling in water. Water geleidt ongeveer 26x meer warmte dan lucht. Als alle warmtetransport mogelijkheden worden meegenomen (straling, geleiding, stroming en verdamping) verliest het lichaam over het algemeen 4x sneller lichaamswarmte in water dan in lucht met dezelfde temperatuur.

Stroming

Het meeste warmteverlies komt door stroming. Doordat lucht langs de huid stroomt, wordt het warme laagje dat zich daar opbouwt telkens weggeblazen. Een lage omgevingstemperatuur wordt daarom pas echt belastend als deze gecombineerd is met luchtbeweging. Kleding speelt een grote rol om de stroming rondom de huid te verminderen. Bij hoge mate van arbeid neemt de warmteafvoer door stroming toe.

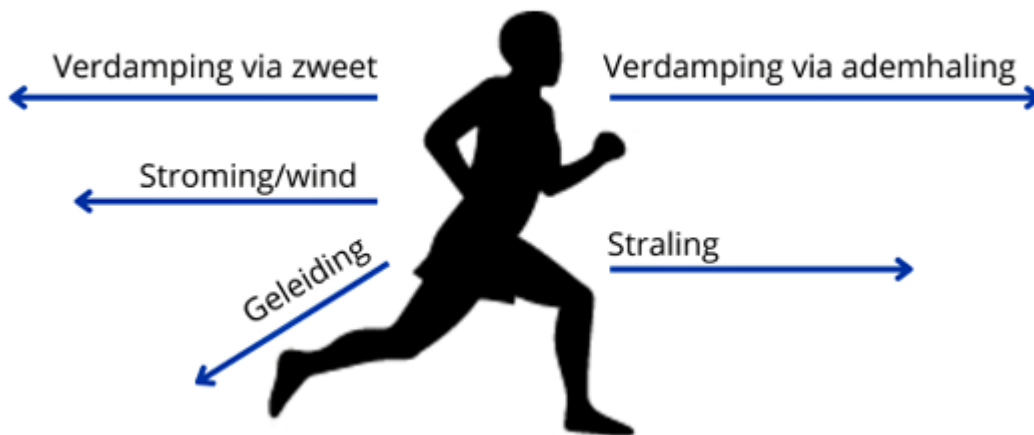
Straling

Dit is warmtetransport door elektromagnetische golven. Het lichaam straalt warmte zowel naar buiten als naar binnen af (bijvoorbeeld binnenzijde dijbenen). In de kou is het grootste deel van het lichaam bedekt met kleding die de straling van het lichaam deels absorbeert. In koude omstandigheden speelt het warmteverlies door straling mede daardoor een ondergeschikte rol. Indien met onbedekte handen wordt gewerkt speelt warmteverlies door straling wel een grote rol. De functie van een bodywarmer of thermisch kleding is daarom zeer groot. De afgifte is het grootst bij het hoofd en handen.

Verdamping

Bij hoge omgevingstemperaturen en flinke inspanning is verdamping vrijwel de enige manier waarop het lichaam de warmte kwijt kan. Ieder mens heeft een bepaalde kerntemperatuur waarboven hij gaat transpireren. Mensen met een lage drempel (bijvoorbeeld 37,5°C) transpireren snel en staan daardoor makkelijk warmte af. Mensen met een hoge drempel (bijvoorbeeld 37,8°C) transpireren moeilijk en krijgen sneller last van warmteproblemen. Elke liter vocht die van de huid verdamppt onttrekt 2430KJ aan warmte. Als je diezelfde liter in twee uur werk verdamppt hebt, is het warmteverlies door transpireren 340 KJ. De kans op hittestuwung doet zich bij mensen met een hoge drempel eerder voor dan bij mensen met een lage drempel.

Als het vocht aanwezig blijft in de kleding of er afdruipt, is het warmteverlies veel geringer. Een natte katoenen T-shirt tijdens hitte verlaagt de benodigde warmteafgifte. In de kou is verdamping ook een belangrijke factor. Na zware arbeid met veel transpiratie is er sprake van een sterke warmteafgifte/-afkoeling, 'after-chill' genoemd. Het ideaal bij interval arbeid is dan ook, om te werken op een dusdanig inspanningsniveau dat net niet wordt getranspireerd, of in ieder geval al het geproduceerde zweet uit de kleding verdamppt. Thermische kleding absorbeert de invloed van deze factor enigszins.



Predicted Mean Vote (PMV)

De voorspelde gemiddelde waardering of PMV is een rekgrootheid die van een groep personen de gemiddelde waardering voorspelt over de thermische gewaarwording van hun omgeving. Deze wordt weergegeven aan de hand van de volgende zeven puntsschaal:

+ / - OC	Punten/ PMV	Gevoel
+	3	Heet
+	2	Warm
+	1	Enigszins warm
	0	Neutraal
-	1	Enigszins koel
-	2	Koel
-	3	Koud

Figuur 1: Predicted Mean Vote (PMV)

In de PMV worden inspanningsniveau, kleding, luchttemperatuur, straling, luchtsnelheid en relatieve luchtvochtigheid meegewogen. Uit de PMV kan het percentage ontevredenen over het klimaat worden afgeleid zodat zij hier hun kleding op kunnen aanpassen. Indien de PMV tussen de $-0,5$ en $+0,5$ ligt is het percentage ontevredenen minder dan 10%. Aangezien de berekening van de PMV zeer complex is wordt deze nauwelijks meer gebruikt. De mate van kleding isolatie wordt aangegeven in Clo (zie tabel).

Kleding	Clo
Onderbroek, T-shirt, korte broek, sokken, sandalen	0,30
Onderbroek, lange loopbroek, sokken, sportschoenen	0,75
Onderbroek, trainingspak, sokken, schoenen	1,00
Ondergoed met korte pijpen, hemd, broek, sokken, schoenen	1,10
Ondergoed met korte pijpen, hemd, broek, sokken, schoenen, muts	1,40
Ondergoed met korte pijpen, hemd, broek, sokken, schoenen, muts, handschoenen	2,00

Figuur 2: Kleding Isolatiewaarden (in Clo) voor diverse kledingcombinaties

Windchill

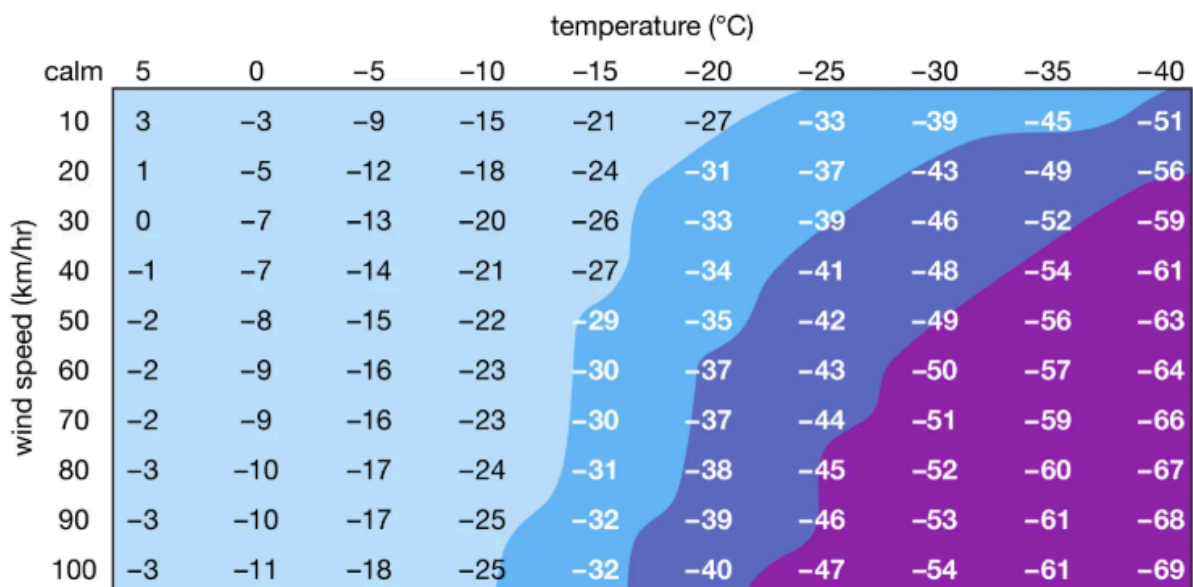
Kou wordt als extra belastend ervaren als de lage temperatuur gepaard gaat met een sterke wind. Met de term windchill wordt het gecombineerd afkoelende effect van temperatuur en wind op de mens weergegeven. Siple en Passel (1945) waren de eerste die, op grond van metingen aan de afkoelsnelheid van water in buisjes op Antarctica, een formule opstelden voor de windchill index (WCI).

$$WCI = (12,12 + 11,6 * v^{-1,16} * v) * (33 - T)$$

(v = windsnelheid in m/s en T = omgevingstemperatuur in C)

Omdat de WCI voor veel mensen lastig te interpreteren is, wordt meestal een omrekening gemaakt naar een windchill-equivalente temperatuur (WCET in C), ook wel gevoelstemperatuur genoemd. Een betere omschrijving is: de temperatuur zoals deze zou worden gevoeld bij afwezigheid van wind (of rekening houdend met de eigen snelheid van de waarnemer, de referentie-windsnelheid).

Steadman (1971) koos een andere benadering voor het bepalen van de WCI en WCET. De WCI werd berekend met een model van de warmteafgifte van het onbedekte hoofd. De WCET werd bepaald door een warmtebalans van het menselijke lichaam op te stellen. Steadman rekende uit hoe dik de kleding om het lichaam moest zijn om thermisch in evenwicht te blijven. De kledingdikte werd vervolgens omgezet in de WCET. In onderstaande figuur zijn de WCET-waarden af te lezen. (referentiesnelheid is 2 m/s)



Afb. relatie temperatuur en windkracht

Momenteel bestaat de ongelukkige situatie dat er verschillende windchill-indices en windchill-equivalente temperaturen in omloop zijn. Sinds 1 november 2001 is de nieuwe WCET in de VS en Canada in gebruik.

De WCI- of WCET-waarden worden gebruikt om drie omstandigheden aan te geven:

- thermisch (dis)comfort
- het handvaardigheid verlies
- bevroeringsgevaar voor de blote huid

Handvaardigheid Verlies

Om een goed gevoel te houden tijdens het klimmen, dragen, hakken, schieten enzovoort is voldoende handvaardigheid een vereiste. Zo is de lactaattolerantie in met name de onderarmen een veel voorkomende beperkende factor doordat de capillaire bloedvaten worden afgeknepen door een blijvende hoge spiertonus. Deze factor wordt behoorlijk negatief beïnvloed door verlies in handvaardigheid. Hierbij gaat het om de beweeglijkheid, snelheid en kracht in het palmaire gedeelte van de hand.

Met onderstaande formule kan worden berekend hoeveel prestatieverlies gemiddeld verwacht kan worden bij koude blootstelling.

Handvaardigheid Verlies (%) = $-0,46 \times \text{WCET} - 0,014 \times \text{WCET} \times \text{duur (min)}$

Voorbeelden:

1. WCET = -8°C

$$-0,46 \times -8 - 0,014 \times -8 \times 90 = 3,68 - - 10,08 = 13,76\%$$

2. WCET = -10°C

$$-0,46 \times -10 - 0,014 \times -10 \times 30 = 4,6 - - 4,2 = 8,8\%$$

Bij een WCET van -10°C en een blootstelling van 30 minuten wordt bijvoorbeeld een verlies van handvaardigheid van ongeveer 9% verwacht. Dit geeft onder meer het verlies aan ten opzicht van 'moderate' klimatologische omstandigheden. ($10 - 20^{\circ}\text{C}$) Een minder snelle eindtijd tijdens koude is hierdoor verklaarbaar en redelijk in te schatten. Indien iemand dezelfde tijd neerzet en de hindernissen zijn identiek aan de vorige keer dan betekent dit een prestatieverbetering. Een prestatievermindering van 9% is veel voor kritische klim passages en langdurige draag arbeid. Bij onvoldoende getraindheid kan dit een onveilige situatie opleveren. Op grond hiervan en om het geschatte prestatieverlies te verminderen dien je af te wegen om preventieve (kleding) maatregelen te treffen.

Warmteverlies van de extremiteiten moet worden gecompenseerd door meer kleding of meer activiteit om onderkoeling te voorkomen. In de meeste koude-indices wordt nauwelijks met de extremiteiten rekening gehouden. Ze spelen echter wel een grote rol in de warmteafgifte. Behoud van een juiste temperatuur in de kern en spieren betekent behoud van het prestatieniveau. Stijging van de temperatuur door bijvoorbeeld een goede warming-up is prestatie verhogend.

Het Nederlandse klimaat kenmerkt zich door relatief veel neerslag en wind. Echt lage temperaturen komen niet veel voor. In slechts 10% van de tijd wordt in Nederland een temperatuur onder de 0 °C gemeten. Een WCET van minder dan -30 °C komt in Nederland gemiddeld niet meer dan één uur per jaar voor. Het is dan ook niet zozeer de temperatuur, als wel de neerslag die in open lucht de koudebelasting bepaalt. Als kleding doornat is, staat het lichaam veel warmte af omdat water zo'n 25x beter geleidt dan lucht. Thermische kleding houdt minder vocht vast en vormt een isolatie (lucht)laag tussen de huid en de lucht waardoor de warmteafgifte enigszins wordt gecompenseerd.

Samenvattend

In de kou moet de mens/atleet het warmteverlies door geleiding, stroming, straling en verdamping reduceren en met een verhoogd metabolisme compenseren. Valt deze warmtebalans negatief uit, dan ontstaat in het mildste geval een gevoel van onbehagen en verminderde handvaardigheid en in ernstige gevallen kans op koudeletsels en onderkoeling.

Met de PMV kan het onbehagen in de kou worden geschat, met de windchill-index de mate van handvaardigheid verlies en de kans op koudeletsels. Met de IREQ kan de hoeveelheid kleding worden bepaald die nodig is om onderkoeling te voorkomen.

Individuele verschillen

Er bestaan verschillen in de belastbaarheid tussen mensen in de kou. Daarbij spelen een drietal factoren een rol:

1. Trainingstoestand. Mensen die goed getraind zijn kunnen meer warmte produceren door inspanning en kunnen deze warmteproductie langer volhouden. Zij hebben dus een voorsprong op ongetrainde mensen bij het voorkomen van verlies in handvaardigheid en onderkoeling.
2. Doorbloeding regulatie. Sommige mensen hebben snel last van koude handen terwijl dat bij anderen nauwelijks het geval is. Net als bij transpireren heeft iedereen een persoonspecifieke drempel in de kerntemperatuur waarboven de hand warm wordt. Heeft iemand een lage drempel, dan is de hand snel warm. Bij mensen die veel last hebben van koude handen is het waarschijnlijk dat de drempel hoog ligt. Oftewel, het lichaam moet erg warm zijn, wil het warmte afstaan aan de handen.
3. Koude beschermingsreactie. Als de huid van handen, voeten en gelaat aan strenge kou wordt blootgesteld, merken we dat de bloedvaten in de huid zich sterk vernauwen. Op den duur kan de weefseltemperatuur zo laag worden, dat schade optreedt. Gelukkig wordt na vijf à tien minuten opwarmen plotseling warm bloed ritmisch naar deze gebieden gestuurd. Deze reactie wordt de Cold Induced Vasodilation (CIVD) genoemd.

Er zijn weinig verschillen tussen mannen en vrouwen wat betreft de huidtemperatuur in een identieke koude omgeving. Ook in taakprestaties lopen de geslachten weinig uiteen. Voor negroïde mensen is de koude beschermingsreactie minder krachtig. In het algemeen treedt deze later en minder krachtig op, wat de kans op koudeletsel verhoogt.

Bij ouderen is de bloedvatvernauwing in de huid die volgt op koude blootstelling minder krachtig. Hierdoor verliezen zij meer warmte in de kou en raken eerder onderkoeld.

Acclimatisatie

Acclimatisatie is van groot belang in de hitte. Na enkele dagen gaat men meer en meer gelijkmatig transpireren over het lichaam. Dit proces bevordert de warmteafgifte. In de kou is nauwelijks acclimatisatie mogelijk. In koude streken hebben mensen vaak minder vet. Dit heeft waarschijnlijk meer te maken met het afwijkende voedselaanbod dan met acclimatisatie. Indien echter de handen en voeten vaak aan kou worden blootgesteld vinden nuttige aanpassingen met betrekking tot de doorbloeding plaats. De koude beschermingsreactie treedt eerder en krachtiger op. Lokale acclimatisatie is te trainen door handen regelmatig aan kou bloot te stellen.

Maatregelen tegen koude

bescherming tegen wind;
kledingisolatie (vochtregulerend ondergoed en ventilerende bovenkleding);
bescherming gelaat en extremiteiten (muts, handschoenen);
atleet beoordelen of deze voldoende getraind is voor een koude wedstrijd;
nuttigen van warme dranken;
verhogen inspanningsniveau;
crème's;
geregelde blootstelling.



Afb. neopreen handschoenen

Mensen behouden over het algemeen een constante kerntemperatuur van 32 °C of warmer. Als de watertemperatuur daaronder komt, koelt men snel af met een snelheid die proportioneel is aan de duur van hun blootstelling. Omdat het lichaam zoveel warmte kan verliezen in koud water kunnen langdurige blootstelling of ongewoon koude omstandigheden leiden tot extreme onderkoeling en uiteindelijk de dood. Personen die ondergedompeld zijn in water van 15 °C ondergaan een daling van rectale temperatuur met een tempo van 3,2°C per uur. Het tempo van verlies aan warmte wordt versneld als het koude water in beweging is.

Dikke proefpersonen (30% meer lichaamsvet) kunnen door hun isolatie beter tegen koude. Magere atleten worden eerder beperkt in hun presteren indien de temperatuur sterk daalt. Inspanning

verhoogt het metabole tempo en stelt hierdoor onderkoeling uit. Voor zwemwedstrijden en trainingen geldt een optimale temperatuur tussen de 23,9 en 27,8 °C.

Spierfunctie

Afkoeling van een spier veroorzaakt een vermindering van de kracht in de spier. Het zenuwstelsel reageert op afkoeling van spieren door de normale rekruteringspatronen van spiervezels te veranderen. Deze verandering verlaagt de efficiëntie van de werking van de spieren. Zowel de verkortingsnelheid als het vermogen neemt tijdens koude af.

Als isolatie door kleding en het door inspanning verhoogde metabolisme voldoende zijn om de lichaamstemperatuur van de sporter te handhaven in de kou, dan blijven de prestaties bij inspanning ongehinderd. Maar als vermoeidheid intreedt en de activiteit van de spieren vermindert, neemt de productie van lichaamswarmte geleidelijk af. Als na verloop van tijd de energievoorraden afnemen daalt de inspanningsintensiteit, waardoor de productie van metabole warmte zakt. De daaropvolgende hypothermie veroorzaakt een nog grotere vermoeidheid en de sporter is nog minder in staat om warmte te produceren. Dit zijn potentieel gevaarlijke omstandigheden voor een atleet.

Metabole reacties

Bij langdurige inspanning worden de mobilisatie en de oxidatie van vrije vetzuren vergroot. De belangrijkste stimulus voor deze stijging in vetmetabolisme is de vrijmaking van catecholaminen (adrenaline en noradrenaline) in het vasculair systeem. Blootstelling aan kou veroorzaakt een duidelijke toename in de afgifte van adrenaline en noradrenaline. Vrije-vetzuur spiegels stijgen echter duidelijk minder tijdens inspanning onder warmere omstandigheden. De blootstelling aan kou veroorzaakt vasoconstrictie in de bloedvaten die naar de huid en de onderhuidse weefsels gaan.

De hoeveelheid suiker in het bloed speelt een belangrijke rol bij de tolerantie van kou en het uithoudingsvermogen bij inspanning. Hypoglykemie (lage bloedsuikerspiegel) onderdrukt bijvoorbeeld het rillen en verlaagt daarmee de rectale temperatuur aanzienlijk. Gelukkig wordt de bloedsuikerspiegel redelijk goed gehandhaafd tijdens koude blootstelling. Aan de andere kant wordt spierglycogeen sneller verbruikt in koud water dan in warm water.

Gezondheidsrisico's tijdens inspanning in de kou

Onderkoeling

Mensen die worden ondergedompeld in bijna vrieskoud water overlijden binnen een paar minuten, terwijl hun rectale temperatuur zakt van het normale niveau van 37°C naar 24-25°C. Als de lichaamstemperatuur eenmaal onder de 34,5°C komt, begint de hypothalamus slechter te functioneren in de regulering van de lichaamstemperatuur. Deze stopt volledig als de lichaamstemperatuur zakt naar 29,5 °C. Afkoeling van het lichaam kan slaperigheid en zelfs coma veroorzaken.

Cardio Respiratoire effecten

Overlijden door onderkoeling is het gevolg van hartstilstand terwijl de ademhaling nog functioneert. (valkuil bij reanimatie!) Afkoeling beïnvloedt primair de SA-knoop, de pacemaker van het hart. Ademhaling via de mond, wat vaak tijdens inspanning gebeurt, kan leiden tot koude-irritatie in mond, strottenhoofd, trachea en zelfs bronchiën als de temperatuur van de lucht beneden de -12°C ligt. Een overmatige blootstelling aan kou heeft ook invloed op de ademhalingsfunctie. Ze verlaagt de ademfrequentie en ademdiepte.

Behandeling van onderkoeling

Tijdens een survivalrun training of –wedstrijd kunnen zich situaties voordoen waarbij er sprake is van atleten met onderkoeling. Milde onderkoeling kan worden behandeld met het beschermen van de aangedane persoon tegen de kou en het verschaffen van droge kleding en warme dranken. Matige tot ernstige gevallen van onderkoeling hebben een voorzichtige aanpak nodig om hartritmestoornissen te voorkomen. Dit betekent dat het slachtoffer langzaam opgewarmd moet worden. Voor ernstige gevallen van onderkoeling is medische zorg in een ziekenhuis noodzakelijk.

Tot besluit

We begonnen dit hoofdstuk met het nagaan hoe de externe omgeving de mogelijkheden beïnvloedt om inspanning te verrichten. We hebben hoofdzakelijk gekeken naar effecten van extreme koude belasting en de reacties van het lichaam hierop. We zijn ingegaan op de gezondheidsrisico's die verbonden zijn aan deze temperaturen en op de manier waarop het lichaam probeert zich aan te passen aan deze omstandigheden. Het hoofdstuk sloten we af door in te gaan op de behandeling van onderkoeling omdat dit een reëel risico oplevert tijdens survivalruns.

Literatuur:

- Daanen, H.A.M. ,Wammes L.J.A. ,Vrijkotte T.G.M. (1993) Windchill en handvaardigheid TNO Technische menskunde;*
- Holmer I., Havenith G.H., den Hartog E.A. , Rintamaki H. , Malchaire J. (may 2000) Temperature limit values for cold touchable surfaces. Final report op project SMT4-CT97-2149. Solna Sweden;*
- Siple P.A., Passel C.F. , (1945) Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. Proc. Amer. Phil. Soc. 89: 177-199*
- Steadman R.G. (1971) Indices of windchill of clothed persons. J. Appl. Meteor. 10: 674-683.*
- Steadman R.G. (1984) A universal scale of apparent temperature. J. Clim.Appl.Meteor. 23: 1674 – 1687.*
- Ven de Linde F.J.G. (1990) Windchill. Ned. Mil. Geneeskunde T. 43: 141 – 146.*
- American College of Sports Medicine (1995), Heat and cold illnesses during distance running.*
- Alexander, L. (1946) Treatment of shock from prolonged exposure to cold especially in water.*
- Armstrong, L.E. (2000) Performing in extreme environments.*
- Wilmore, J.H., Costill, D.L.(2004) Physiology of Sport and exercise P4: 294 – 317.*