

Iedere sporter kent het fenomeen: in de zomer loopt de hartslagfrequentie veel sneller op dan in de winter. Als de duur en de intensiteit (snelheid, uitwendig vermogen) van de inspanning identiek zijn zal het hart onder warme omstandigheden toch sneller slaan. Hoe komt dit en wat zijn de praktische consequenties?

Snellere hartslag in de warmte

Wetenschappelijke achtergronden en praktische implicaties

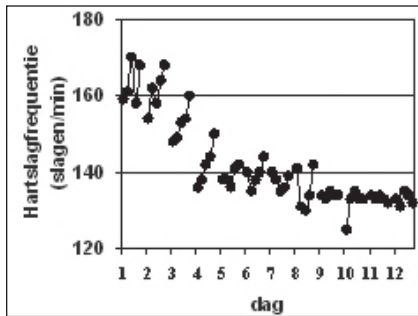
**Hanno van der Loo &
Hein Daanen**

Veel sporters nemen als vanzelfsprekend aan, dat hun hartslagfrequentie de beste indicatie is voor de zwaarte van de inspanning die ze aan het leveren zijn. Tot op zekere hoogte is dat ook zo. Alle processen die zich afspeelen in het lichaam kosten energie. Die energie kan alleen worden vrijgemaakt als er ter plekke voldoende zuurstof beschikbaar is. Die zuurstof moet worden aangevoerd door het bloed en het hart is de pomp die zorgt voor die aanvoer. Zo bezien is de hoeveelheid bloed die door het hart wordt rondgepompt (het hartminuutvolume: het product van slagvolume en slagfrequentie) een goede maat voor de totale zuurstofopname en daarmee voor de totale fysieke en geestelijke inspanning die het lichaam aan het leveren is. Boven een bepaald hartminuutvolume zal het slagvolume niet verder toenemen en kan er alleen nog een grotere hoeveelheid bloed worden rondgepompt door een toename van de hartslagfrequentie. Vanaf dat punt is die hartslagfrequentie dus een goede graadmeter voor de zwaarte van de inspanning.

Warmtebalans

Het bovenstaande geldt echter alleen onder thermoneutrale omstandigheden, als ons lichaam weinig moeite hoeft te doen om niet te warm te worden. Al sinds de jaren zestig (o.a. Rowell et al., 1966) is namelijk bekend, dat de hartslagfrequentie niet alleen door de metabole, maar ook door de thermische belasting wordt beïnvloed. Bij een constante metabole intensiteit is de hartslagfrequentie significant afhankelijk van de kerntemperatuur (o.a.^{3, 4}).

Om gezond te blijven en goed te kunnen functioneren moeten mensen hun lichaamstemperatuur rond de 37 °C zien te houden. Als hun kerntemperatuur enkele graden hoger of lager wordt, kan dit al gevaar voor de gezondheid opleveren en leiden tot mindere prestaties. De mens beschikt daarom over allerlei regelmechanismen om de lichaamstemperatuur binnen het gewenste bereik te houden. Het belangrijkste regelmechanisme is ons gedrag: in de hitte spannen we ons minder in en zoeken we de schaduw op. De mens produceert veel warmte tijdens inspanning. Onze efficiën-



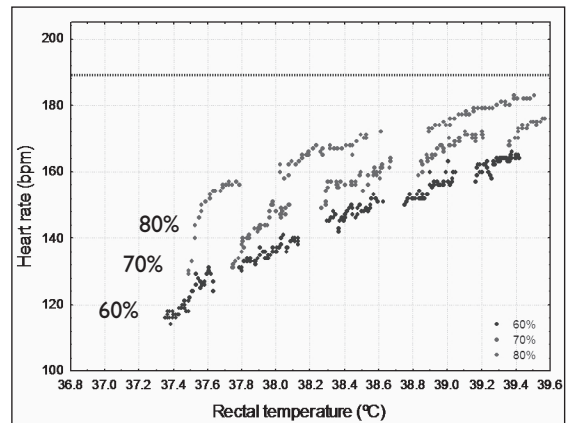
Figuur 1. Aanpassingen in hartslagfrequentie door acclimatisatie aan hitte. Tijdens de acclimatisatie neemt de hoeveelheid vocht in het lichaam toe, waardoor het hart minder snel hoeft te kloppen. Bron⁷.

tie (extern vermogen gedeeld door metabolisme) ligt rond de 20% tijdens zware (fiets)inspanning en is binnen personen vrij constant⁵. Dat betekent dat ongeveer 80% van de energie die ons lichaam produceert vrij komt in de vorm van warmte. Als we met een uitwendig vermogen van 300 Watt fietsen, komt er 1200 Watt aan warmte vrij! Helaas is het zo dat we 1% minder efficiënt worden voor elke graad dat ons lichaam warmer wordt¹. Dit is een extra reden om te proberen een te sterke toename van de lichaamstemperatuur te voorkomen. De overtollige warmte moet dus uit het lichaam worden afgevoerd. Als de omgevingstemperatuur duidelijk lager is dan onze lichaamstemperatuur en/of we niet al te grote hoeveelheden warmte produceren, gaat dit gemakkelijk: door straling, stroming en geleiding kunnen we warmte aan onze omgeving afgeven. Dit noemen we de droge warmteafgifte. Maar als de omgeving warmer is dan onze huid, lukt dat niet meer. Dan kunnen we alleen nog maar warmte verliezen met zweeten. Dit noemen we natte warmteafgifte.

Radiator

Om de lichaamswarmte kwijt te kunnen en het zweet op de huid goed te kunnen verdampen, wordt de huid beter doorbloed als het lichaam warm wordt. De huid functioneert daarbij als

Figuur 2. Het verband tussen kerntemperatuur (x-as) en hartslagfrequentie (y-as) bij fietsen onder warme omstandigheden (in een klimaatkamer) op 3 verschillende intensiteiten, corresponderend met 60%, 70% en 80% van de maximale zuurstofopname. De horizontale lijn geeft de maximale hartslagfrequentie van deze proefpersoon aan.

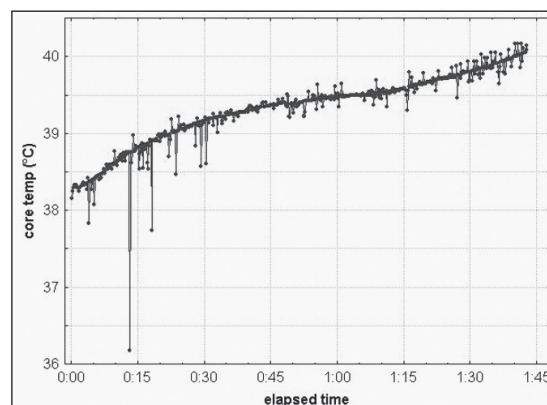


een soort radiator. Door de verhoogde huiddoorbloeding komt er minder bloed terug bij het hart. Omdat de behoefte van de spieren voor zuurstof niet is veranderd, moet het hart sneller gaan kloppen om aan de vraag van de spieren te kunnen voldoen. Daardoor wordt de hartslagfrequentie een minder directe afspiegeling van het zuurstofverbruik van de spieren. Met andere woorden: onder warme omstandigheden zal de hartslagfrequentie hoger zijn bij dezelfde zuurstofopname. Of omgekeerd: zal de zuurstofopname lager zijn bij dezelfde hartslagfrequentie. De sterkte van dit effect verschilt sterk tussen individuen. De mate van getraindheid en de mate van gewenning aan de warmte (acclimatisatie) spelen een rol, maar ook de individuele aanleg. Heel belangrijk is ook de vochtstatus. Bij uitdroging moet het hart nog sneller gaan kloppen. Bij de ene sporter zal de hartslagfrequentie bij een toename van de kerntempe-

ratuur maar een paar slagen per °C hoger komen te liggen, bij anderen kan de toename wel tot 30 slagen per °C bedragen. Als mensen acclimatiseren aan hitte, neemt de hoeveelheid vocht in het lichaam toe en wordt het verschil in hartslagfrequentie tussen hitte en normale temperatuur kleiner (zie figuur 1).

Experimenten

De gegevens in figuur 2 zijn een mooie illustratie van het hierboven beschreven mechanisme. Een proefpersoon heeft onder warme omstandigheden (in de klimaatkamer van TNO in Soesterberg) op 3 afzonderlijke dagen gefietst op 3 verschillende intensiteiten, overeenkomende met 60%, 70% en 80% van de maximale zuurstofopname (VO_2max). Ondanks dat het uitwendige vermogen steeds constant wordt gehouden blijft de hartslagfrequentie (y-as) in alle drie de gevallen continu toenemen. Er is een zeer duidelijke samenhang met de stijging van de (rectaal gemeten) lichaamstemperatuur (x-as). De grootte van het effect bedraagt bij dit individu 20-25 hartslagen per °C stijging van de lichaamstemperatuur.



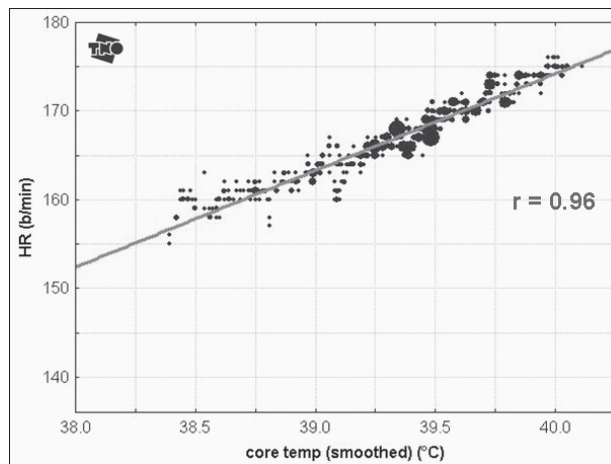
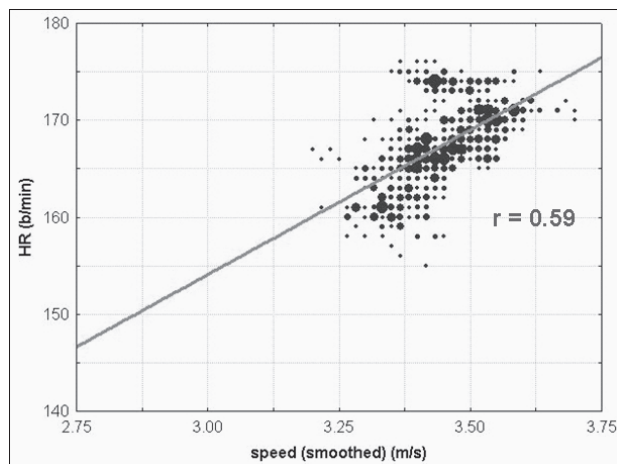
Figuur 3. Verloop van de kerntemperatuur bij een hardloper tijdens het lopen van een halve marathon in een omgevingstemperatuur van ongeveer 12°C.

Figuur 3 laat zien, dat de lichaamstemperatuur ook onder echte omstandigheden duidelijk kan oplopen, zelfs als het niet bijzonder warm is. Bij een hardloper zijn tijdens een halve marathon in het voorjaar (de maximumtemperatuur bedroeg die dag 12 °C – data KNMI) continu de loopsnelheid (met een Suunto footpod), de hartslagfrequentie (met een Suunto T6 hartslagmeter) en de kerntemperatuur (met een CorTemp meetpil) gemeten. Hoewel de loopsnelheid vrij constant was (beide helften van de race werden in ongeveer dezelfde tijd gelopen met een gemiddelde snelheid van ruim 12 km/u), liep de hartslagfrequentie

omgevingstemperatuur lag die dag tussen de 12,8 en 16,7 °C en tijdens de race viel er een stevige bui. De stijging van de lichaamstemperatuur bleef dan ook beperkt. Desondanks kon nog steeds een aanzienlijk deel van de variatie in hartslagfrequentie worden teruggevoerd op de variatie van de lichaamstemperatuur.

Dat het niet uitzonderlijk is dat hardlopers, ook onder koele weersomstandigheden (10-11 °C), een kerntemperatuur van ruim 40 °C bereiken blijkt uit onderzoek van de Nijmeegse Radboud Universiteit tijdens de Zevenheuvelenloop in 2008 (zie kader). Bij 15% van de ongeveer 250 deelnemers waarbij de

frequentie onder een bepaalde, onder thermoneutrale omstandigheden vastgestelde omslagwaarde te houden, zal merken dat hij daarvoor steeds langzamer moet gaan lopen/fietsen. Minder goed getrainde lopers zullen op een bepaald moment soms zelfs moeten gaan wandelen. Als we echter niet naar onze hartslagmeter, maar bijvoorbeeld naar onze benen of naar onze ademhaling zouden luisteren, dan zouden we direct merken dat de inspanning eigenlijk steeds een beetje minder zwaar wordt. Bij dezelfde hartslagfrequentie zal de zuurstofvraag immers afnemen. In vergelijking met lopen of fietsen op onze omslagpols



Figuren 4a en 4b. Het verband tussen (a) loopsnelheid (m/s, x-as) en hartslagfrequentie (slagen/min, y-as) en (b) kerntemperatuur (°C, x-as) en hartslagfrequentie (slagen/min, y-as) tijdens het lopen van een halve marathon.

naarmate de race vorderde steeds verder op. Ook in dit geval was dit duidelijk terug te voeren op een toename van de kerntemperatuur, van ongeveer 38,3°C bij de start tot ruim 40°C aan de finish. De figuren 4a en 4b illustreren dit: de correlatie tussen loopsnelheid en hartslagfrequentie (fig. 4a) is veel zwakker ($r = .59$) dan de correlatie tussen loopsnelheid en kerntemperatuur (fig. 4b; $r = .96$).

Ook in het onderzoek van Koen Levels en Ivo Tiemessen tijdens de marathon van Eindhoven 2009 (zie hun artikel elders in dit nummer van *Sportgericht*) werden loopsnelheid, hartslagfrequentie en kerntemperatuur gemeten. De

lichaamstemperatuur met behulp van een CorTemp meetpil werd geregistreerd, was de lichaamstemperatuur aan de finish hoger dan 40 °C.

Praktische implicaties

De invloed van de kerntemperatuur op de hartslagfrequentie heeft nogal wat praktische consequenties. Als we geen rekening houden met dit effect, dan zullen we mogelijk minder goede prestaties kunnen leveren en wellicht minder effectief trainen.

Omslagpunt

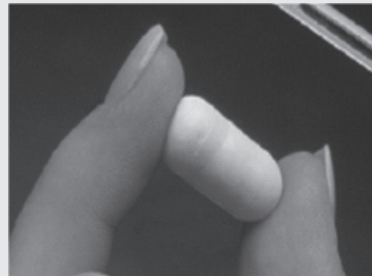
Een marathonloper of wielrenner die in de warmte probeert zijn hartslag-

in koelere omstandigheden zullen we meer zweten, maar zullen onze benen minder moe aanvoelen en zal onze ademhaling (veel) rustiger zijn.

We moeten bedenken, dat het omslagpunt allereerst betrekking heeft op de balans tussen energieverbruik en aerobe energieproductie. Zolang de productie het verbruik kan bijhouden komen we op dit punt niet in de problemen. Hoe hard ons aerobe energiesysteem moet werken is primair af te lezen aan het zuurstofverbruik. De hartslagfrequentie is daarvan een afgeleide. Als we het niet warm hebben een hele goede, maar als we het warmer krijgen een steeds minder goede

De afdeling Fysiologie van de Nijmeegse Radboud Universiteit deed in 2008 en 2009 grootschalig onderzoek tijdens de Zevenheuvelenloop, een loop over 15km over een geaccidenteerd parcours tussen Nijmegen en Groesbeek. Het onderzoek stond onder leiding van prof. dr. Maria Hopman, hoogleraar integratieve fysiologie. *Sportgericht* vroeg haar om een korte samenvatting van de onderzoeksresultaten:

'Tijdens de editie van 2008 hebben we bij 250 deelnemers zowel de hartslagfrequentie als de kerntemperatuur gemeten. Die kerntemperatuur meten we met een meetpil (zie afbeelding), die enkele uren voor het begin van de race wordt ingeslikt en zich tijdens de race in de darmen bevindt. De pil zendt een warmte afhankelijk signaal uit dat buiten het lichaam kan worden opgevangen door een meetkastje. De pil is voor éénmalig gebruik en verlaat op normale wijze de darmen.



Hoewel het op de dag van de race maar 10-11°C warm was, bleek dat 15% van de deelnemers aan de finish een lichaamstemperatuur van meer dan 40°C had. Dit verraste ons wel. Bij een deel van deze mensen hebben we het onderzoek herhaald in 2009 en we kregen – bij vergelijkbare weersomstandigheden – vergelijkbare resultaten. Het lijkt er dus op, dat het een persoonsgebonden fenomeen is. Bij deze groep zagen we dat de lichaamstemperatuur al tijdens de warming-up duidelijk opliep. Hoe dit te verklaren is weten we eigenlijk nog niet goed. In de hele onderzoeksgroep konden we bijvoorbeeld geen verband vaststellen tussen enerzijds het verloop van de lichaamstemperatuur en anderzijds het geslacht, de kleding, de Body Mass Index en de prestatie van de deelnemers.

Vijf minuten na het passeren van de finish rapporteerden de 'warme' lopers geen sterkere vermoeidheid dan de rest van de groep. We weten eigenlijk niet goed of het gevaarlijk is als de lichaamstemperatuur bij het hardlopen oploopt tot 40 of zelfs 41°C. Tijdens de editie van 2009 hebben we daarom bloed afgenomen om te kijken of er iets verandert aan de stollingsfactoren. De resultaten van dat onderzoek zijn we op dit moment aan het analyseren.'

afgeleide, zeker als we niet aan hitte zijn geacclimatiseerd.

Conclusie: in de warmte mag men de hartslagfrequentie rustig wat hoger laten oplopen, zonder dat er direct zuurstoftekort in de spieren ontstaat. Sterker nog, als we vast blijven houden aan onze 'normale' trainingshartslagfrequenties, dan zal er mogelijk sprake zijn van ondertraining. De spieren hoeven immers minder energie vrij te maken/zuurstof te verbruiken om dezelfde hartslagfrequentie te bereiken. Bedenk hierbij dat ook als je relatief bent uitgedroogd, de hartslagfrequentie aanzienlijk hoger zal liggen en de grenswaarde van de hartslagmeter snel zal zijn bereikt.

Zoladz test

Nu we dit alles weten is het ook duidelijk, dat het gebruik van de Zoladz

test (in *Sportgericht* beschreven door Hoedt, 2001) om vorderingen in het trainingsproces van midden- en lange afstand lopers door het jaar heen te meten, een hachelijke zaak is. Vergelijking van de testresultaten is eigenlijk alleen mogelijk als de omgevings-temperatuur en luchtvochtigheid waaronder de test wordt afgenomen steeds hetzelfde zijn. Of beter: als de lichaamstemperatuur van de atleet steeds hetzelfde is. Als de lichaamstemperatuur hoger is, zal de hartslagfrequentie bij dezelfde inspanning ook hoger zijn. Omdat de atleet bij deze test juist steeds binnen een bepaalde hartslagfrequentiezone moet blijven, zal zijn loopsnelheid in iedere zone lager komen te liggen en zou men ten onrechte de conclusie kunnen trekken dat de conditie is verslechterd.

Shuttle-run

Ook andere veldtesten waarin de hartslagfrequentie een bepalende rol speelt zijn minder goed bruikbaar als ze worden afgenomen bij een afwijkende temperatuur. Zo zal de hartslag tijdens een submaximale shuttle-run onder warme omstandigheden bij iedere trap hoger liggen dan onder koelere omstandigheden. Hieruit mag men niet zomaar de conclusie trekken, dat de conditie verslechterd is.

Aan de andere kant is deze test wel weer een prima middel om de acclimatisatie aan warmte (zie De Vries, 2007) te volgen: bij een plotselinge overgang naar warm weer zullen de hartslagfrequentiewaarden aanvankelijk duidelijk hoger komen te liggen, maar naarmate de sporter beter geacclimatiseerd raakt wordt het effect milder.

Conconitest

Bij het gebruik van de de Conconitest, die een tijd lang populair is geweest als methode om de omslagpols te bepalen, zal men ook rekening moeten houden met de opdrijvende invloed van de kerntemperatuur op de hartslagfrequentie. In de warmte zal de omslagpols hoger liggen. Als men de snelheid waarbij die polsslag wordt gehaald niet bij de interpretatie betreft, zou men ten onrechte kunnen concluderen dat de conditie is verbeterd.

Hartslagmeter van de toekomst

Het wachten is op de eerste hartslagmeter die de invloed van de lichaamstemperatuur op de hartslagfrequentie mee laat wegen bij het geven van informatie over de intensiteit van de inspanning. Idealiter zou de lichaamstemperatuur daarvoor continu gemeten moeten worden, maar omdat het technisch lastig is om dat zowel betrouwbaar, comfortabel en betaalbaar te doen, zou de mate waarin de hartslagfrequentie moet worden 'gecorrigeerd' eventueel ook geschat kunnen worden door het in samenhang analyseren van uitwendig vermogen, hartslagfrequentie, omgevingstemperatuur en luchtvochtigheid. Essentieel daarbij is wel, dat dit voor iedere individuele gebruiker afzonderlijk gebeurt, op basis van echte meetgegevens. Correctie op basis van een algemeen algoritme volstaat niet, omdat de sterkte van het in dit artikel beschreven effect zeer sterk verschilt tussen individuen.

Referenties

1. Daanen HA, Van Es E & De Graaf J (2006). Heat strain and gross efficiency during endurance exercise after lower, upper, or whole body precooling in the heat. *International Journal of Sports Medicine*, 27, 379-388.
2. Hoedt H (2001). De 5x6 minutentest van Zoladz. *Sportgericht*, 55 (6), 38-41.
3. McArdle W, Magel JR, Lesmes GR & Pechar GS (1976). Metabolic and cardiovascular adjustment to work in air and water at 18, 25, and 33°C. *Journal of Applied Physiology*, 40 (1), 85-90.

4. Nadel ER, Cafarelli E, Roberts MF & Wenger CB (1979). Circulatory regulation during exercise in different ambient temperatures. *Journal of Applied Physiology*, 46 (3), 430-437.

5. Noordhof DA, De Koning JJ, Van Erp T, Van Keimpema B, De Ridder D, Otter R & Forster C (in druk). The between and within day variation in gross efficiency. *European Journal of Applied Physiology*. DOI: 10.1007/s00421-010-1497-4.

6. Rowell LB, Marx HJ, Bruce RA, Conn RD & Kusumi F (1966). Reductions in cardiac output, central blood volume and stroke volume with thermal stress in normal man during exercise. *Journal of Clinical Investigation*, 45 (1), 1801-1816.

7. Strydom NB, Wyndham CH, Williams CG, Morrison JF, Bredell GA, Benade AJ & Von Rahden M (1966). Acclimatization to humid heat and the role of physical conditioning. *Journal of Applied Physiology*, 21, 636-642.

8. Vries M de (2007). Wennen aan warmte. *Sportgericht*, 61 (2), 2-5.

Over de auteurs

Hanno van der Loo is coördinator van de Nationale Sportinnovatie Agenda bij InnoSportNL en redacteur van *Sportgericht*. Dit artikel is mede gebaseerd op enkele experimenten die hij uitvoerde tijdens zijn dienstverband (2004-2008) bij de afdeling Human Performance van TNO Defensie en Veiligheid in Soesterberg. Hein Daanen is onderzoeker bij de genoemde afdeling van TNO en hoogleraar thermofysiologie aan de Faculteit der Bewegingswetenschappen van de Vrije Universiteit in Amsterdam.

(Advertentie)



Vanaf maart 2010 leverbaar!

Step-Over
verstelbare horde

De prijs is **€44,95** per horde. Bij aankoop van 5 stuks **€39,95** per horde en bij aanschaf van 20 stuks **€34,95** per horde.

Prijzen zijn inclusief BTW & exclusief verzendkosten.

Voor bestelling kunt u terecht bij **Herstelsnel.nl**
tel. 070-3644646 of step-over@herstelsnel.nl
Meer info en tips voor gebruik: www.herstelsnel.nl

