

*Het handhaven van een adequate vochtbalans is belangrijk voor de gezondheid en het prestatieniveau van sporters. Vanaf de eerste wetenschappelijke studies in de jaren '40 van de vorige eeuw is de menselijke waterhuishouding onder verschillende omstandigheden steeds beter in kaart gebracht. De huidige methoden zijn echter nog niet toereikend om tijdens inspanning continu de vochtbalans te meten. Dat vraagt om nieuw licht op de zaak!*

## Nieuw licht op de vochtbalans tijdens inspanning

**Coen Bongers, Alan Riordan,  
Maria Hopman, Thijs Eijvogels  
& Ton van Leeuwen**

In ons lichaam werken continu krachtige processen die een evenwicht creëren tussen vochtinname en vochtafgifte.<sup>1,2</sup> Inname gebeurt primair via het eten en drinken, terwijl er secundair ook water vrijkomt bij het metabolisme (zie figuur 1). Vocht verlaat het lichaam hoofdzakelijk via de urine, maar ook via de ontlasting, door verdamping in de luchtwegen en door te zweten.<sup>1,3,4</sup> In rust is het lichaam goed in staat om de vochtbalans te reguleren.

De balans kan echter op verschillende manieren verstoord worden, waardoor er in het lichaam een tekort of juist een overschot aan water ontstaat. Om een beter inzicht te krijgen in de vochtbalans en de gevolgen van verstoringen tijdens inspanning zullen we in dit artikel ingaan op de fysiologie van de vochtbalans, de effecten op sportprestaties en de mogelijkheden om de vochtbalans te meten.

### Regulatie van de vochtbalans

Het handhaven van de waterbalans (vochtverlies = vochtinname) wordt over het algemeen goed gereguleerd door het intrinsieke dorst- en honger-

gevoel.<sup>2</sup> Dit gevoel ontstaat dankzij het neuro-endocriene en renale systeem in reactie op het totale watergehalte in het lichaam en op veranderingen in de osmolariteit (concentratie opgeloste deeltjes in een vloeistof) van het bloed.<sup>5</sup> Hierdoor worden kleine veranderingen in de vochtbalans, resulterend in overhydratie of dehydratie, op korte termijn aangepakt.<sup>1</sup>

Is het vochtverlies groter dan de vochtinname, dan resulteert dit in een stijging in osmolariteit van het bloed en een daling van het circulerend bloedvolume. Deze stijging in osmolariteit wordt opgemerkt door osmoreceptoren in de hypothalamus en dit stimuleert het dorstgevoel en de secretie van het antidiuretisch hormoon vasopressine.<sup>6-8</sup> Het dorstgevoel zorgt ervoor dat we gaan drinken, zodat het circulerend volume en de osmolariteit hersteld worden.<sup>7</sup> De verhoogde vasopressinesecretie stimuleert de reabsorptie van water door de nieren.<sup>6</sup> Hierdoor wordt het lichaam beschermd tegen een verdere afname van circulerend volume. In het geval van overhydratie gebeurt exact het te-

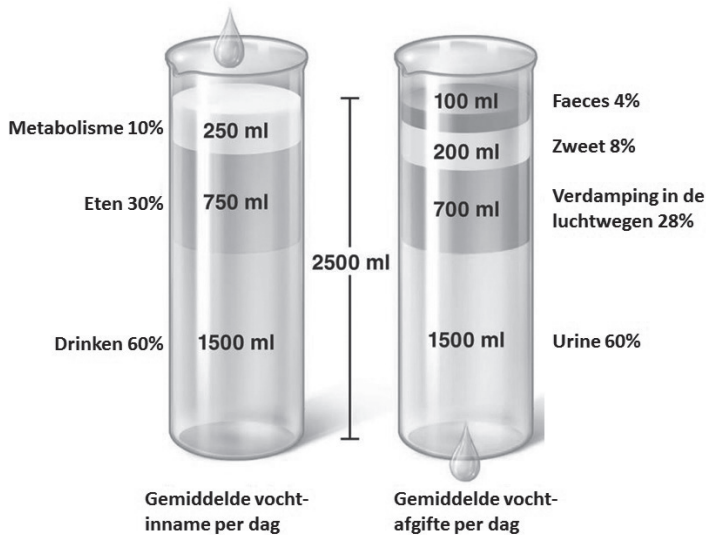


#### Titel

Sensor voor het monitoren van de vochtbalans

#### Projectpartners

AMC Amsterdam  
Radboudumc  
Agis automatisering



Figuur 1. Overzicht van de dagelijkse vochtinname en -afgifte.

genovergestelde: verminderde secretie van vasopressine en een verhoogde urinesecretie<sup>9</sup>, waardoor de vochtbalans weer hersteld wordt.

### Drie compartimenten

Het lichaam van een gemiddelde volwassen man bestaat voor ongeveer 60% uit water.<sup>2,3,10</sup> Bij een lichaamsgewicht van 70 kg komt dit neer op 42 liter (zie figuur 2). Het vocht bevindt zich deels in de cellen (intracellulaire compartiment: 28 liter, 65%) en deels erbuiten (extracellulaire compartiment: 14 liter, 35%). Het extracellulaire compartiment is weer onder te verdelen in het vocht tussen de cellen (interstitiële compartiment: 10,8 liter) en het vocht in de bloedbaan en het lymfestelsel (intravasculaire compartiment: 3,2 liter).<sup>2,3,10,11</sup> Deze drie compartimenten opereren niet als een statisch geheel, maar als het ware als communicerende vaten.<sup>3,11</sup> Er is een continue uitwisseling van vocht, waardoor de handhaving van de vochthomeostase wordt bevorderd.<sup>3,12</sup> Door deze dynamische eigenschappen is het lichaam in staat om te reageren op verstoringen in de vochtbalans die zich bijvoorbeeld tijdens inspanning,

maar ook in geval van ziekte of bij hoge omgevingstemperaturen kunnen voordoen.

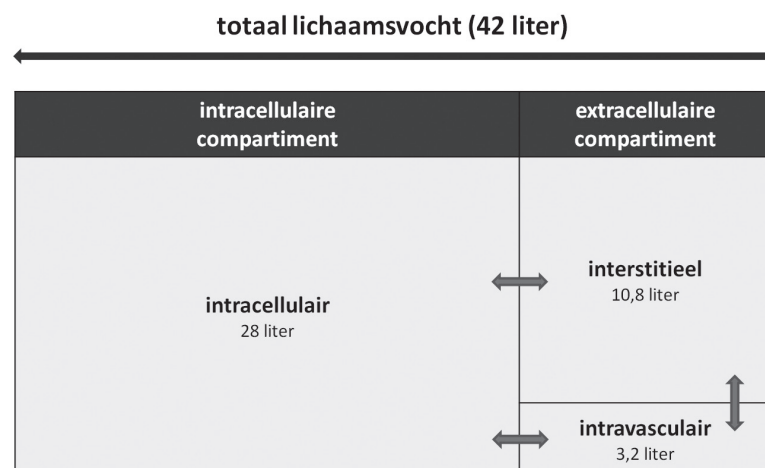
### Inspanning en vochtbalans

In rust wordt het meeste vocht verloren via de urine. Tijdens inspanning verandert deze situatie en wordt zweet de primaire bron van vochtverlies. Bij de productie van de benodigde energie voor het leveren van inspanning komt namelijk ongeveer 80% van de energie vrij als warmte.<sup>13,14</sup> De sterk verhoogde warmteproductie veroorzaakt een stijging van de lichaamstemperatuur. Dit stimuleert de mechanismen voor warmteafgifte, waarvan de verdamping van zweet de belangrijkste is.<sup>2</sup> Hierdoor ontstaat een verstoring van de vochtbalans.

De toenemende transpiratie resulteert in een interstitieel vochtverlies. Hierdoor zal een herverdeling van water vanuit de andere compartimenten plaatsvinden. In een onderzoek lieten Nose en collega's<sup>15</sup> tien proefpersonen bij een omgevingstemperatuur van 36°C fietsen op 40% van hun (eerder gemeten) maximale zuurstofopname, totdat ze 2-3% uitgedroogd waren. Het totale vochtverlies na dit protocol bedroeg 20,3 ml/kg, waarvan respectievelijk 43%, 36% en 21% te wijten was aan vochtverlies in het intracellulaire, interstitiële en intravasculaire compartiment.

Maar wat gebeurt er nu tijdens en na inspanning en in tussen de verschillende compartimenten? In eerste instantie treedt er, door een hogere osmotische druk in het interstitiële compartiment, een verplaatsing van vocht op van het intravasculaire compartiment naar het interstitiële compartiment. Dit veroorzaakt een daling van het intravasculaire volume. In het onderzoek van Nose en collega's<sup>15</sup> bedroeg deze daling direct na het uitdrogingsprotocol 9,4%. Na een herstelfase van 30 minuten, waarin het niet was toegestaan om te drinken, was deze afname gedeeltelijk hersteld tot 5,0%. De daling van het vochtgehalte in het intravasculaire compartiment tijdens en na inspanning zorgt voor een verhoogde osmotische druk. Daardoor wordt er water

Figuur 2. Verdeling van vocht over de drie compartimenten.



aan het interstitium onttrokken om te compenseren voor het vochtverlies en het circulerend bloedvolume te beschermen.<sup>15,16</sup>

Naast het effect van inspanning op het intravasculaire en interstitiële compartiment zorgt inspanning tevens voor een daling van het intracellulaire vochtgehalte. Dit volume verandert echter niet tijdens de herstelfase. Er ontstaat tijdens het herstel dus een 'steady state' tussen het intracellulaire en extracellulaire compartiment. Dit suggereert dat het gedeeltelijke herstel van het intravasculaire compartiment, in het uur na de inspanning, veroorzaakt wordt door een verdere

### Gevolgen van dehydratie

Het ontstaan van dehydratie tijdens inspanning lijkt dus onvermijdelijk. Eerder onderzoek laat zien dat de mate van dehydratie de sportprestatie kan beïnvloeden. Dit kan als volgt verklaard worden. Tijdens inspanning daalt initieel het interstitiële vochtvolume, waardoor er vochtverschuivingen tussen de drie compartimenten ontstaan. Door een dalend intravasculair volume vindt er tevens een herverdeling van het bloed plaats van de huid naar de kern.<sup>17,18</sup> Op deze manier compenseert het lichaam voor het vochtverlies en houdt het de doorbloeding van de vitale organen intact. Dit resulteert echter

dratie kan de prestatie dus negatief beïnvloeden.<sup>19,21,22</sup> Daarom is het voor sporters van belang dat de mate van dehydratie goed in kaart kan worden gebracht.

### Huidige methoden om de vochtbalans te meten

Het meten van de vochtbalans is niet zo eenvoudig als veelal gedacht wordt (zie tabel 1). Isotoop verdunningstechnieken waarbij een radioactieve *tracer* in het lichaam wordt gebracht, worden veelal gezien als de gouden standaard.<sup>3,4,10</sup> Deze techniek is echter alleen toe te passen onder laboratoriumomstandigheden met de proefpersoon stil liggend op bed. Methoden om de vochtbalans te meten tijdens en na trainingen en wedstrijden zijn minder nauwkeurig, maar zeker geschikt om een indicatie van de vochtbalans te geven. Het meten van veranderingen in lichaamsgewicht direct voor en na een training is hier een goed voorbeeld van.<sup>4,10</sup> Verder kan de vochtbalans gemeten worden met behulp van bloedbepalingen (plasma osmolariteit, serum natriumconcentratie en plasmavolume verandering) en urine parameters (soortelijk gewicht, osmolariteit, kleur).<sup>4,10</sup> Ook het dorstgevoel wordt door sporters gebruikt om een indicatie te krijgen van de dehydratie.

Op basis van dit dorstgevoel gaan ze vervolgens drinken om de mate van dehydratie te beperken.<sup>23,24</sup> Het probleem van de huidige methoden om de vochtbalans te meten is dat ze niet nauwkeurig zijn. Onderzoek laat zien dat het meten van de vochtbalans door afname van urine afname sterk beïnvloed kan worden door het drinkgedrag vlak voor het geven van het sample.<sup>10</sup> Als een sporter direct na inspanning een flinke hoeveelheid water drinkt en vervolgens een urine sample geeft, dan zal deze urine bovenmatig veel water bevatten.<sup>10</sup> Daarnaast zijn de huidige methoden niet geschikt om toegepast te worden

Methoden	Prijs	Tijd per analyse	Expertise noodzakelijk	Nauwkeurigheid	Verplaatsbaarheid	Gezondheidsrisico's	Toepasbaar tijdens inspanning
Isotoop verdunningstechniek	3	3	3	1	3	3	3
Bloed osmolariteit	3	2	3	1	3	2	2
Bloed natriumconcentratie	1	2	2	2	3	2	2
Plasma volumeverandering	2	2	3	1	3	2	2
Urine osmolariteit	3	2	3	1	3	1	2
Urine soortelijk gewicht	2	1	1	2	1	1	2
Urine kleur	1	1	1	2	1	1	2
Verandering in lichaamsgewicht	1	1	1	2	1	1	2
Mate van dorst	1	1	1	3	1	1	1
1 =	goedkoop	kort	weinig	hoog	makkelijk	laag	ja
2 =	gemiddeld	gemiddeld	gemiddeld	gemiddeld	moelijk	gemiddeld	tijdens rust
3 =	duur	lang	veel	laag	niet	hoog	nee

Tabel 1. Vergelijking tussen methoden om de vochtbalans te meten.<sup>10</sup>

afname van het interstitiële compartiment.<sup>15,16</sup> Het drinken van water zal er uiteindelijk voor zorgen dat alle compartimenten zich volledig herstellen. De regulatie van de vochtbalans wordt dus flink op de proef gesteld tijdens inspanning.

Literatuuronderzoek van Chevront en collega's<sup>2</sup> laat zien dat sporters in warme omstandigheden per uur gemiddeld 1,2 liter/uur zweet produceren. Over het algemeen zijn ze niet in staat om dit vochtverlies door vochtinname te compenseren. Hierdoor daalt de totale hoeveelheid water in het lichaam, een situatie die dehydratie/uitdroging wordt genoemd.

in een verminderde warmteafgifte op het niveau van de huid, waardoor de lichaamstemperatuur toeneemt.<sup>17,18</sup>

Literatuur laat zien dat ieder procent gewichtsafname (vochtverlies) van een sporter de lichaamstemperatuur met 0,15°C extra laat stijgen.<sup>2,12</sup>

Een gedehydrateerde sporter heeft dus te maken met een verminderd plasmavolume en een verhoogde warmteopslag van het lichaam. De hartfrequentie zal hierdoor stijgen, terwijl het slagvolume juist daalt.<sup>18-20</sup> Deze veranderingen hebben een daling van het hartminuutvolume tot gevolg; er wordt minder zuurstofrijk bloed rondgepompt, ook naar de spieren. Dehy-

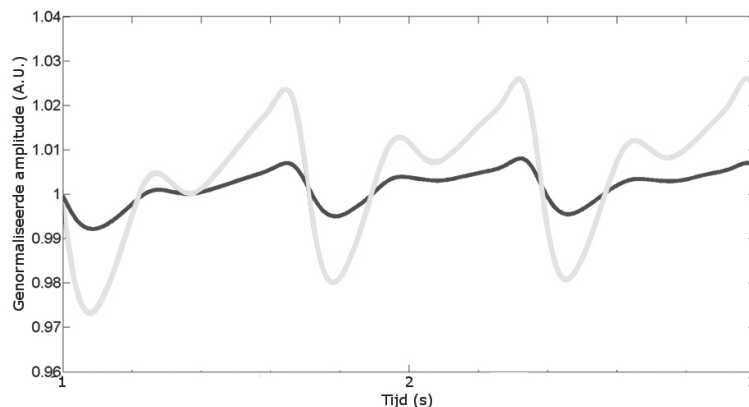
tijdens inspanning. Sporters moeten de inspanning tijdelijk stoppen om de vochtbalans te kunnen meten. Een goede meting van de hydratiestatus tijdens inspanning is dus noodzakelijk. Op deze manier is het voor sporters mogelijk om een goed inzicht te krijgen in de vochtbalans tijdens inspanning, waardoor prestatieverlies mogelijk voorkomen kan worden.

## Ontwikkeling van nieuwe methoden

Een nieuwe techniek om de vochtbalans te meten is dus welkom. Dit moet een methode zijn die kan anticiperen op de dynamische veranderingen die in het lichaam optreden tijdens inspanning, zodat de vochtbalans continu gemeten kan worden en een sporter tijdig kan drinken. Een techniek die bij voorkeur in staat is om het totale vochtgehalte in alle drie de compartimenten te meten. Door de grote dynamiek van bewegingen en het lichaam tijdens inspanning is dit vrijwel onmogelijk. Op dit moment ligt de focus op het meten van de hydratiestatus van het intravasculaire compartiment. Dit compartiment reageert namelijk het snelst op verstoringen van de vochtbalans. De wateruitwisseling tussen de compartimenten is een belangrijk punt om rekening mee te houden. Door de continue uitwisseling van water tussen de compartimenten is het uitdaging om een goede indicatie van de vochtbalans te geven op basis van één van de compartimenten.

## Nieuw licht op de vochtbalans

Als licht door weefsel gaat wordt een deel ervan geabsorbeerd door verschillende componenten in dit weefsel. Door te kijken naar de hoeveelheid licht dat uit het weefsel komt is het mogelijk om de samenstelling van het weefsel te bepalen, mits de juiste kleuren licht gekozen zijn. Deze techniek wordt absorptie spectroscopie genoemd.



Figuur 3. Het gemoduleerde licht op twee verschillende golflengtes dat door de vinger gaat. Beide golflengtes meten dezelfde pulserende vinger, maar omdat het bloed het licht van de lichte lijn meer absorbeert, is de amplitude van dit signaal groter dan van het donkere signaal. Op basis hiervan kan de waterconcentratie van het bloed bepaald worden.

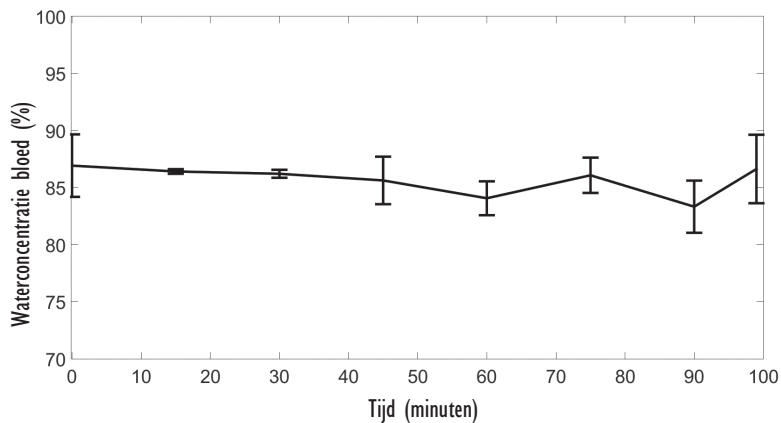
Water absorbeert veel licht als de golflengte van het licht nabij het infrarode spectrum ligt. Dit infrarode licht is onzichtbaar voor het menselijke oog, maar kan wel gemeten worden door fotodioden of andere licht detectoren. Als er bijvoorbeeld infrarood licht door een millimeter puur water gaat, dan zal slechts 4% van het licht van de originele intensiteit doorgelaten worden. Het overige deel van het licht wordt opgenomen door het water. Echter, als je dezelfde hoeveelheid licht stuurt door een millimeter weefsel dat voor 50% uit water bestaat, dan zal 20% van het licht doorgang vinden. Het meten van de hoeveelheid licht die doorgelaten wordt door weefsel op deze golflengte maakt het mogelijk om te bepalen hoeveel water er in weefsel zit (mits het weefsel niet bestaat uit andere stoffen die licht absorberen bij deze golflengte).

Het sturen van licht door de vinger zou het daardoor mogelijk moeten maken om de hoeveelheid water in de vinger te bepalen. In eerste instantie gingen we ervan uit dat de totale hoeveelheid water zou veranderen in een sporter tijdens dehydratie. Echter, aan de hand van de experimenten bleek het onmogelijk te zijn om de vochtbalans van een sporter op deze manier te meten, aangezien de methode gelijktijdig het intra- (huid en ander weef-

sel) en extracellulaire compartiment (bloedvaten) meet.

Het 'meettechnisch' scheiden van de waterconcentratie van het intravasculaire compartiment en de concentratie in de rest van de vinger is dus van groot belang. Met andere woorden: hoe kunnen we de waterconcentratie van het bloed bepalen zonder dat we hiervoor een bloedafname hoeven te doen?

De plethysmografische golfvorm analyse is hier mogelijk de oplossing voor. Deze techniek wordt reeds gebruikt in pulse-oxymeters, waarmee de zuurstofverzadiging van het bloed kan worden bepaald. De pulse-oxymeters maken gebruik van twee kleuren licht, één voor de absorptie van geoxideerd hemoglobine en één voor de absorptie van gedeoxideerd hemoglobine. Door te analyseren hoe het licht dat door de vingers schijnt gemoduleerd wordt door de pulsaties van de arteriën, is het mogelijk te bepalen hoe het bloed het licht van deze twee kleuren absorbeert. Wanneer het bloed het licht van een bepaalde kleur sterk absorbeert, dan is de pulsatie in het gemeten signaal sterk. Als het bloed minder absorbeert, dan zal ook het gemeten signaal kleiner zijn (zie figuur 3). Als de kleuren licht worden veranderd in licht dat wordt geabsorbeerd door water in het bloed en we opnieuw



Figuur 4. Waterconcentratie van het bloed van een sporter tijdens een inspanningsprotocol van 90 minuten in een warme omgeving (27°C). De waterconcentratie is gemeten voorafgaand aan de inspanning (baseline), iedere 15 minuten en direct na afloop van de inspanning. De dehydratie op basis van het lichaamsgewicht bedroeg 2,1%.

kijken naar het effect van de pulsaties, dan is het mogelijk om de hoeveelheid water te bepalen in plaats van de zuurstofverzadiging. Op deze manier ontstaat een meetmethode om de hoeveelheid water in het intravasculaire compartiment te bepalen.

In figuur 4 is een gelijkmatige afname in waterconcentratie van het bloed te zien tijdens een uitdrogingsprotocol op een fiets ergometer, gemeten met de nieuwe hydratiesensor. De grote standaarddeviatie duidt aan dat er een verschil in herverdeling van water is tussen het intravasculaire compartiment en de andere compartimenten. Verdere metingen zijn daarom noodzakelijk om deze vochtverdeling tussen de compartimenten beter in kaart te brengen. Op dit moment wordt de nieuwe methode gevalideerd met behulp van bloedanalyses in het lab. Als het apparaat gevalideerd is, kan het gebruikt worden om de waterconcentratie van het bloed van sporters tijdens verschillende condities te kwantificeren. Kennis over de waterconcentratie van het bloed kan sporter en coach helpen om in training en competitie een gepersonaliseerde hydratiestrategie toe te passen, zodat de prestatie bevorderd kan worden.

## Referenties

1. Montain SJ et al. (2006). Human water and electrolyte balance. In: Bowman B & Russell R, *Present knowledge in nutrition* (chapter 33). Washington DC: International Life Sciences Institute.
2. Institute of Medicine of the National Academies (2004). *Dietary reference intakes for water, potassium, sodium, chloride and sulfate*. Washington DC: National Academies Press.
3. Armstrong LE (2007). Assessing hydration status: the elusive gold standard. *Journal of the American College of Nutrition*, 26 (5 Suppl), 575S-584S.
4. Kavouras SA (2002). Assessing hydration status. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 5 (5), 519-524.
5. Rolls BJ & Rolls ET (1982). *Thirst*. Cambridge: Cambridge University Press.
6. Hew-Butler T (2010). Arginine vasopressin, fluid balance and exercise: is exercise-associated hyponatraemia a disorder of arginine vasopressin secretion? *Sports Medicine*, 40 (6), 459-479.
7. Thornton SN (2010). Thirst and hydration: physiology and consequences of dysfunction. *Physiology & Behavior*, 100 (1), 15-21.
8. Weitzman RE & Kleeman CR (1979). The clinical physiology of water metabolism. Part I: The physiologic regulation of arginine vasopressin secretion and thirst. *The Western Journal of Medicine*, 131 (5), 373-400.
9. Freund BJ et al. (1995). Glycerol hyperhydration: hormonal, renal, and vascular fluid responses. *Journal of Applied Physiology*, 79 (6), 2069-2077.
10. Armstrong LE (2005). Hydration assessment techniques. *Nutrition Reviews*, 63 (6 Pt 2), S40-S54.
11. Sawka MN & Coyle EF (1999). Influence of body water and blood volume on thermoregulation and exercise performance in the heat. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 27, 167-218.
12. Sawka MN (1992). Physiological consequences of hypohydration: exercise performance

and thermoregulation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 24 (6), 657-670.

13. Cheuvront SN & Haymes EM (2001). Thermoregulation and marathon running: biological and environmental influences. *Sports Medicine*, 31 (10), 743-762.

14. Gonzalez-Alonso J (2012). Human thermoregulation and the cardiovascular system. *Experimental Physiology*, 97 (3), 340-346.

15. Nose H et al. (1988). Shift in body fluid compartments after dehydration in humans. *Journal of Applied Physiology*, 65 (1), 318-324.

16. Maw GJ et al. (1998). Human body-fluid distribution during exercise in hot, temperate and cool environments. *Acta Physiologica Scandinavica*, 163 (3), 297-304.

17. Buono MJ & Wall AJ (2000). Effect of hypohydration on core temperature during exercise in temperate and hot environments. *Pflügers Archiv: European Journal of Physiology*, 440 (3), 476-480.

18. Nybo L (2008). Hyperthermia and fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 104 (3), 871-878.

19. Cheuvront SN et al. (2003). Fluid balance and endurance exercise performance. *Current Sports Medicine Reports*, 2 (4), 202-208.

20. Sawka MN et al. (1979). Thermal and circulatory responses to repeated bouts of prolonged running. *Medicine and Science in Sports*, 11 (2), 177-180.

21. Cheuvront SN et al. (2010). Mechanisms of aerobic performance impairment with heat stress and dehydration. *Journal of Applied Physiology*, 109 (6), 1989-1995.

22. Maughan RJ (2003). Impact of mild dehydration on wellness and on exercise performance. *European Journal of Clinical Nutrition*, 57 (Suppl 2), S19-S23.

23. Goulet ED (2011). Effect of exercise-induced dehydration on time-trial exercise performance: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 45 (14), 1149-1156.

24. Goulet ED (2012). Dehydration and endurance performance in competitive athletes. *Nutrition Reviews*, 70 (Suppl 2), S132-S136.

## Over de auteurs

Coen Bongers werkt als PhD-student op de afdeling Fysiologie van het Radboudumc en hij richt zich op de thermoregulatie en vochtbalans van sporters tijdens inspanning. Thijs Eijvogels is als inspanningsfysioloog werkzaam op deze afdeling, welke onder leiding staat van professor Maria Hopman. Alan Riordan is als post-doc onderzoeker werkzaam op de afdeling Bio-engineering & Physics van het AMC. Deze afdeling staat onder leiding van professor Ton van Leeuwen.