

Mark Merwin op de Cho Oyu. Na een eerdere acclimatisatietoetocht gaat hij nu naar kamp 2 op 7000 meter.

Thuis acclimatiseren in een zuurstofarme tent

Pre-acclimatiseren

Steeds vaker zie je online aanbiedingen van producten die ervoor zorgen dat we minder hoogte-gerelateerde problemen hebben op bijvoorbeeld de Kilimanjaro of in de Himalaya. Er wordt in deze reclames beweerd dat pre-acclimatiseren met behulp van 'normobare hypoxie', bijvoorbeeld met een zuurstofarme tent, een effectieve methode is. De NKBV Medische Commissie boog zich over de vraag of de kans op het ontwikkelen van hoogte-gerelateerde klachten met deze tent inderdaad afneemt en hoe zo'n voorbereiding er dan uitziet.

Tekst Remco Berendsen en Marieke van Vesseem

Wanneer je omhoog gaat, neemt de luchtdruk langzaam af. Op ongeveer 5800 meter is de luchtdruk de helft van die op zeeniveau. Het gevolg van deze luchtdrukdaling is dat ook de zuurstofdruk in de lucht daalt en dat deze dan dus ook de helft van de druk op zeeniveau is. Wanneer er minder zuurstofdruk heerst, kan het onaangepaste lichaam minder zuurstof opnemen. Het aanpassen van het lichaam aan deze lage luchtdruk heet acclimatiseren en heeft als doel meer zuurstofopname te bereiken.

Het systeem: normobare hypoxie

Het proces van acclimatiseren heeft tijd nodig en de duur verschilt per individu. Tijd is vaak een probleem tijdens een geplande reis naar bijvoorbeeld de top van de Kilimanjaro, omdat het reisschema vaststaat. Een oplossing zou kunnen zijn om thuis, op zeeniveau, te 'pre-acclimatiseren'. Er worden verschillende manieren aangeboden om te pre-acclimatiseren, maar in dit artikel bespreken we alleen de zuurstofarme tenten. De naam legt meteen het mechanisme uit: in zo'n tent is het zuurstofgehalte lager dan er buiten, waardoor de zuurstofdruk lager is, maar de luchtdruk in de tent wel gelijk is aan de luchtdruk buiten de tent. Dat is de eerder

genoemde normobare hypoxie. (Zie figuur 1.)

Het zuurstofgehalte in de tent uit dit voorbeeld komt ongeveer overeen met een hoogte van 2900 meter. Het grote verschil met de echte situatie, op de berg, is dat de luchtdruk niet verandert. Door de lagere zuurstofdruk past het lichaam zich aan, om zo optimaal mogelijk – zowel fysiek als mentaal – te functioneren op die hoogte. De belangrijkste aanpassingen van het lichaam zijn een toename van de rust-hartfrequentie (en een daling van de maximale hartfrequentie tijdens inspanning), een toename van de ventilatie (een diepere en snellere ademhaling) en een toename van de rodebloedcelconcentratie. Dankzij deze aanpassingen kan het lichaam voldoende zuurstof blijven transporteren van de longen naar de organen en weefsels.

Wanneer mensen acuut naar hoogte gaan (4300 meter) is de prevalentie van acute hoogtezieke (AMS; Acute Mountain Sickness) ongeveer 80 procent op dag 1, met een geleidelijke afname vanaf dag 2 tot bijna 0 procent op dag 6 (zie figuur 2).

Wetenschappelijk onderzoek

Om te beweren dat pre-acclimatiseren een effectieve methode is om hoogtezieke te voorkomen, is onderbouwing met bewijs uit wetenschappelijk onderzoek nodig. De bewijskracht van een onderzoek is afhankelijk van de gekozen onderzoeksmethode en de manier waarop het onderzoek is uitgevoerd.

Dit wordt als volgt ingedeeld:

- A1: Systematische beoordeling (meta-analyse)
- A2: Gerandomiseerd vergelijkend onderzoek van goede kwaliteit
- B: Gerandomiseerd vergelijkend onderzoek van matige kwaliteit
- C: Niet-vergelijkend onderzoek
- D: Mening van deskundigen

Hierbij heeft niveau A1 de hoogste bewijskracht en D de laagste.

Figuur 1.

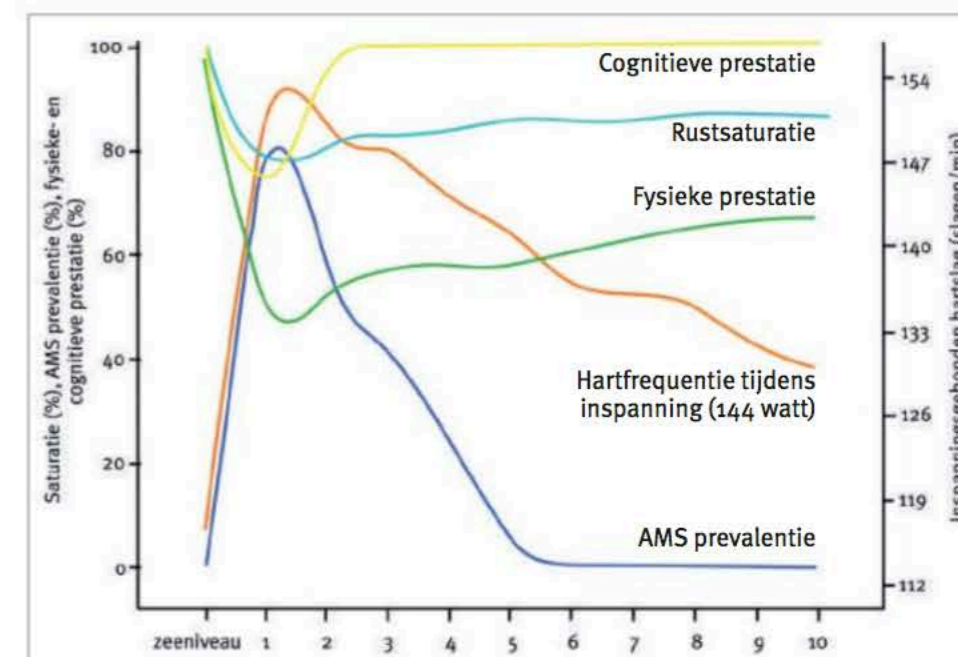
Luchtdruk is 762 Torr	Luchtdruk is 543 Torr	Luchtdruk is 290 Torr
21% zuurstof in de lucht	15% zuurstof in de tent	21% zuurstof in de lucht
Zuurstofdruk is 21% x 762	Zuurstofdruk is 15% x 762	Zuurstofdruk is 21% x 543
Zuurstofdruk = 160 Torr	Zuurstofdruk = 114 Torr	Zuurstofdruk = 114 Torr
Normobare normoxie (NN)	Normobare hypoxie (NH)	Hypobare hypoxie (HH)

De kwaliteit van het onderzoek wordt door verschillende zaken beïnvloed. Een kwalitatief goede studie naar pre-acclimatisatie bevat in elk geval de volgende elementen:

- Proefpersonen uit de interventiegroep (wel pre-acclimatisatie) worden vergeleken met een controlegroep (geen pre-acclimatisatie).
- Het betreft een gerandomiseerde studie (proefpersonen worden willekeurig in de controlegroep en de interventiegroep ingedeeld). Hierdoor moeten de groepen aan het begin van de studie vergelijkbaar zijn.
- De proefpersonen en de onderzoekers zijn geblindeerd (een dubbelblinde studie). Hierdoor weten beide groepen niet wie er in de interventie- en wie er in de controlegroep zit tijdens het onderzoek. Zo kunnen ze ook niet worden beïnvloed door hun overtuigingen over pre-acclimatisatie (placebo-effect). Om blinding bij pre-acclimatiseren te bereiken, slapen proefpersonen uit de controlegroep ook in een tent, waarbij de zuurstofconcentratie niet wordt verlaagd.
- Beide groepen moeten, afgezien van de interventie, hetzelfde worden behandeld.
- De resultaten moeten volledig en objectief worden beschreven.

Bewijs voor de bewering

Is er duidelijk bewijs te vinden in de literatuur dat aangeeft dat pre-acclimatiseren helpt en wat verstaan we dan onder pre-acclimatiseren? Er zijn veel studies gedaan naar het effect van pre-acclimatiseren in de breedste zin van het begrip. Het overgrote deel van deze studies kijkt vooral naar de effecten van hypoxie op de kwaliteiten van topsporters die na een zogenaamde hoogtestage terugkeren voor een wedstrijd op zeeniveau. Het doel van zo'n hoogtestage is om de atletische prestatie te verbeteren. Als we de vergelijking doortrekken naar de bergsporter, gaat het die reiziger voornamelijk om gezond blijven en dus het voorkomen van hoogtezieke (AMS). Aan de hand van vragenlijsten kun je de diagnose AMS stellen. De Lake Louise Self Reporting Score (LLSRS) en de Environmental



Figuur 2. Representatief tijdsverloop van de acclimatisatie van acute blootstelling van 'laaglanders' aan 4300 meter. De verschillende curves stellen het volgende voor: AMS prevalentie, fysieke prestatie, hartfrequentie tijdens inspanning (144 watt), rustsaturatie en de cognitieve prestatie.¹

Symptoms Questionnaire (ESQ) zijn de meest gebruikte vragenlijsten. Als de score van de vragenlijst boven een bepaalde afkwaarde komt, is er sprake van AMS. En hoe hoger de score, hoe ernstiger de symptomen van AMS worden ervaren. De diagnose is dus onderhevig aan subjectiviteit, maar het is op dit moment nog niet mogelijk de diagnose op een andere manier te stellen.

Helpt de tent?

Heeft het verblijf in een zuurstofarme tent nu effect op het vóórkomen en voorkómen van AMS? Er zijn tot nu toe vijf dubbelblinde placebogecontroleerde gerandomiseerde studies gedaan over dit onderwerp (zie tabel).²⁻⁶ De studie van Dehnert³ is daar een van en vergelijkt twee groepen die vóór een hoogteblootstelling in een hypoxische (zuurstofarme) tent overnachtten (zie tabel hieronder).

Overzicht van dubbel geblindeerde, gerandomiseerde studies.²⁻⁶ (NH = Normobare hypoxie, NN = Normobare normoxie, HH = Hypobare hypoxie)

Studie	Protocol pre-acclimatisatie	Test	Uitkomst
Fulco, 2011 Interventie N=14 Controle N=9	7 nachten slapen in een tent. Interventie (NH): afgebouwd van 16.2% zuurstof (ca. 2200 m) de eerste nacht naar 14.4% zuurstof (ca. 3100 m) de 7e nacht. Controle (NN): 20.9% zuurstof (ca. zeeniveau).	25 uur na het protocol transport naar 4300 m (HH) en verblijf voor 5 dagen.	De proefpersonen in de NN-groep hadden een hogere AMS-score en prevalentie bij ontwaken. Overdag was er geen verschil tussen beide groepen.
Wille, 2012 Interventie N=13 Controle N=13	1 uur per dag gedurende 7 dagen. Interventie (NH): 12.6% zuurstof (ca. 4500 m). Controle (NN): 20.9% zuurstof (ca. zeeniveau).	Pre-test (minimaal 4 weken voor het protocol) en post-test (2 dagen na het protocol): 8 uur verblijven bij 11.3% zuurstof (ca. 5300 m) (NH).	De interventiegroep had, in tegenstelling tot de controlegroep die geen verschil liet zien, een lagere AMS-score tijdens de post-test. De prevalentie van AMS was gelijk.
Dehnert, 2014 Interventie N=21 Controle N=21	14 nachten slapen in een tent. Interventie: afgebouwd van 15.4% (ca. 2500 m) naar 14-15% zuurstof (ca. 3043 m) (NH). Controle (NN): 21% zuurstof (ca. zeeniveau).	4 dagen na het protocol verblijven bij 12% zuurstof (ca. 4500 m) voor een duur van 20 uur (NH).	De proefpersonen in de controlegroep hadden een hogere AMS-score, maar de prevalentie van AMS was gelijk.
Faulhaber, 2016 Interventie N=15 Controle N=17	1 uur per dag gedurende 7 dagen. Interventie (NH): 12.6% zuurstof (ca. 4500m). Controle (NN): 20.9% zuurstof (ca. zeeniveau).	48 uur na protocol, transport naar 3650 m met een verblijf van 45 uur (HH).	Geen verschil in AMS-score en -prevalentie.
Niedermeier, 2017 Interventie N=22 Controle N=20	1 uur per dag gedurende 7 dagen. Interventie (NH): 12.6% zuurstof (4500 m). Controle (NN): 20.9% zuurstof (ca. zeeniveau).	Verblijven bij 12.6% zuurstof (NH) gedurende 12 uur.	Geen verschil in AMS-prevalentie.



Verklaring terminologie

Prevalentie: het aantal personen dat op een bepaald moment een aandoening heeft.
Hypoxie: een laag zuurstofgehalte in de lucht.
Placebo-effect: de werkzaamheid van een interventie die berust op geloofwaardigheid en de positieve effecten ervan.

Het bleek lastig om de studie uit te voeren, waardoor niet alle proefpersonen op de juiste hoogte sliepen. Hierdoor konden de auteurs een deel van de proefpersonen niet meenemen in de analyse. De auteurs vonden een verschil tussen de twee groepen qua AMS-scores, maar het verschil is niet relevant, omdat de score in de pre-acclimatisatiegroep nog erg hoog is en de score in de controlegroep op de drempelwaarde uitkomt van de diagnose hoogteziekte voor wat betreft de LLSRS. Vervolgens zijn de gegevens bekeken door een vergelijking te maken tussen geslapen onder 2000 meter en geslapen boven 2000 meter. De verschillen tussen de hoogtezijktescores blijven significant, maar zijn niet relevant, omdat de score in de controlegroep onder de afkapwaarde voor hoogteziekte valt.

Ook de andere studies die worden weergegeven in de tabel tonen geen duidelijk voordeel voor pre-acclimatiseren in een hoogtetent. Acclimatiseren op hoogte is bewezen effectief tegen het ontwikkelen van hoogteziekte. Het aanbevolen stijgingsprofiel pleit hiervoor. Een prospectieve observationele studie uit Taiwan laat zien dat de prevalentie van AMS lager is wanneer personen binnen twee maanden voor de beklimming van de Yushan (3952 meter) meer dan twee dagen boven de 3000 meter zijn geweest.⁷ Ook onderzoek van Richalet laat zien dat wanneer bergbeklimmers acclimatiseren op hoogte, ze beter zijn voorbereid op de werkelijke beklimming.⁸

In het algemeen lijkt het er dus wel op dat pre-acclimatiseren nuttig kan zijn voor bepaalde groepen, die tijdens de tocht niet voldoende op de berg kunnen acclimatiseren. Denk hierbij aan de routes op de Kilimanjaro, die geen van alle voldoen aan de geldende stijgingsrichtlijnen.

De ideale voorbereiding

Het is onduidelijk hoe een ideale voorbereiding eruitziet. In de literatuur staan veel verschillende protocollen beschreven (aantal dagen, naar welke hoogte), maar het lijkt erop dat de pre-acclimatisatie in een hypoxische tent gekoppeld moet zijn aan de uiteindelijke te bereiken hoogte, en dat het een bepaalde duur moet hebben, de zogenaamde hypoxische belasting. Een ander belangrijk punt is timing: hoe lang kan er maximaal zitten tussen het pre-acclimatiseren en de beklimming? Voordat er een goed, eenduidig advies kan worden gegeven, zijn er nog meer vergelijkbare studies nodig, met name studies die kijken naar de duur van de voorbereiding en de mate van hypoxische belasting.

Conclusie

Ondanks dat pre-acclimatiseren in een hypoxische tent mogelijk een positief effect lijkt te hebben op de ernst van AMS, is het momenteel nog niet duidelijk hoe het voorbereidende protocol eruit moet zien. Om de kans op hoogteziekte te verminderen, is het belangrijk om je te houden aan een goed stijgingsprofiel tijdens de expeditie (vanaf 2500-3000 meter per nacht de

Een goed stijgingsprofiel vermindert de kans op AMS

slaaphoogte met maximaal 300-500 meter verhogen, met elke twee tot vier dagen een dag waarop de slaaphoogte niet wordt verhoogd⁹ en eventueel preventieve medicatie te gebruiken in situaties waarin het risico op hoogteziekte hoog is (bijvoorbeeld bij mensen die gevoelig zijn voor AMS, of bij een 'gedwongen' snel stijgingsprofiel, bijvoorbeeld op de routes op de Kilimanjaro of wanneer je invliegt op een hooggelegen vliegveld, zoals La Paz of Cuzco). ◀

Literatuur

1. Muza, S.R., B.A. Beidleman, and C.S. Fulco, *Altitude preexposure recommendations for inducing acclimatization*. High Alt Med Biol, 2010. 11(2): p. 87-92.
2. Wille, M., et al., *Short-term intermittent hypoxia reduces the severity of acute mountain sickness*. Scand J Med Sci Sports, 2012. 22(5): p. e79-85.
3. Dehnert, C., et al., *Sleeping in moderate hypoxia at home for prevention of acute mountain sickness (AMS): a placebo-controlled, randomized double-blind study*. Wilderness Environ Med, 2014. 25(3): p. 263-71.
4. Niedermeier, M., et al., *Is decision making in hypoxia affected by pre-acclimatization? A randomized controlled trial*. Physiol Behav, 2017. 173: p. 236-242.
5. Faulhaber, M., et al., *Seven Passive 1-h Hypoxia Exposures Do Not Prevent AMS in Susceptible Individuals*. Med Sci Sports Exerc, 2016. 48(12): p. 2563-2570.
6. Fulco, C.S., et al., *Effect of repeated normobaric hypoxia exposures during sleep on acute mountain sickness, exercise performance, and sleep during exposure to terrestrial altitude*. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, 2011. 300(2): p. R428-36.
7. Weng, Y.M., et al., *Different duration of high-altitude pre-exposure associated with the incidence of acute mountain sickness on Jade Mountain*. Am J Emerg Med, 2013. 31(7): p. 1113-7.
8. Richalet, J.P., et al., *Use of a hypobaric chamber for pre-acclimatization before climbing Mount Everest*. Int J Sports Med, 1992. 13 Suppl 1: p. S216-20.
9. Kupper, T.E., et al. *Emergency Field Management of Acute Mountain Sickness, High Altitude Pulmonary Edema, and High Altitude Cerebral Edema*, Consensus Statement of the UIAA medical commission, 2012. 2, 19.