

Mensen hadden 3600 jaar geleden gerst nodig om het dak van de wereld te bereiken. Dat schrijven wetenschappers deze week in *Science*. Naast het verbouwen van gerst, vereist het leven op grote hoogte ook belangrijke aanpassingen van het menselijk lichaam.

TEKST **Anne van Kessel**

gezichtsvermogen



Door heel snel te stijgen vermindert het gezichtsvermogen. Kleuren vervagen en de omgeving ziet er een beetje grijs uit. Veel mensen hebben last van kleine bloedingen in het oog. Deze verdwijnen na een paar weken in lager gelegen gebied.

slaapproblemen



Door hyperventilatie daalt het CO₂-gehalte in het bloed. Een hoog CO₂-gehalte is de prikkel om adem te halen. Als omgekeerd de hoeveelheid CO₂ te ver daalt, stopt de ademhaling. Dat zorgt ervoor dat je plotseling naar adem snakt en wakker wordt.

hartslag



De hartslag neemt toe om voldoende zuurstof bij de organen te krijgen.



Ervaring in de bergen?

Voor me doemt hij op: de Khumbu Icefall. De tientallen meters hoge muur van ijs waar dit voorjaar zestien Nepalese klimmers omkwamen door een lawine. Ik heb na een tocht van acht dagen Everest Base Camp bereikt op 5364 meter hoogte. De laatste paar nachten kon ik vanwege de hoogte niet slapen en eten. Eten en elke ademteug doen pijn aan mijn keel. De boomgrens hebben we al lang achter ons gelaten. Hier is niets dan rotsen, sneeuw en ijs. Op de mensen in de paar theehuizen in Gorak Shep (5164 meter) na, woont hier niemand.

Dat is niet zo vreemd, want het leven op grote hoogte vereist heel wat van het lichaam. Wetenschapsblad *Science* meldt deze week op zijn website dat de eerste mensen zich waarschijnlijk pas 3600 jaar geleden permanent vestigden op delen van het Tibetaans Hoogland tot 4700 meter. Ondanks aanwijzingen dat ze 20.000 jaar geleden al af en toe de hoogte opzochten om te jagen, waren westerse granen als gerst en tarwe nodig voor een permanente vestiging.

Opvallend genoeg werd het in die periode juist kouder in de wereld. Fahu Chen en collega's onderzochten botten, plantenresten en andere overblijfselen op 53 plaatsen op het noordoostelijke Tibetaans Hoogland. Ze ontdekten dat de eerste vestigingen rond 5200 jaar geleden grotendeels afhankelijk waren van de oogst van vorstbestendige planten als tros- en pluimgierst en niet hoger lagen dan 2500 meter. Met de komst van winterharde

gerst, lukte het uiteindelijk om op 4700 meter hoogte te gaan wonen.

Boven de 4000 meter gaat alles langzamer. Het is alsof ik de trap oploop met een rietje in mijn mond en een wasknijper op mijn neus. Als we klimmen, moet ik vaak rusten. Dat komt doordat de lucht in de bergen weliswaar net als op zeeniveau 21 procent zuurstof bevat, maar minder deeltjes. De druk is er namelijk een stuk lager. De absolute hoeveelheid zuurstof neemt daardoor af. Elke ademteug op 4000 meter bevat maar 60 procent van het aantal deeltjes dat je op zeeniveau binnen krijgt.

Hoogteproblemen

Als een klimmer daar niet genoeg rekening mee houdt, gaat het mis. Jaarlijks krijgen veel wandelaars en klimmers last van hoogteziekte en andere hoogteproblemen. Ervaring in de bergen speelt geen rol. Het vertelt hooguit iemand snel last van de hoogte krijgt. De boosdoener is namelijk DNA. "De gevoeligheid voor hoogteziekte is aangeboren", zegt Edith Kortekaas, anesthesioloog met grote interesse voor berggeneeskunde, van het Universitair Medisch Centrum Utrecht. Van maart tot en met mei werkte ze voor de Himalayan Rescue Association in Pheriche (4270 meter), Nepal. Dit is een niet-gouvernementele organisatie die de gezondheid wil bevorderen van zowel de lokale bevolking als van trekkers en klimmers in de Himalaya.

Elke dag geven de artsen een presentatie over hoogteziekte en als ik er ben, loopt er een onderzoek waarbij er op verschillende plaatsen langs de route onze bloeddruk, hartslag en

De boosdoener is DNA. De gevoeligheid voor hoogteziekte is aangeboren.

zuurstofsaturatie wordt gemeten. In de kliniek komen gemiddeld tien tot twintig patiënten per dag van wie 60 procent Nepali en 40 procent toeristen. Bij toeristen is hoogteziekte de belangrijkste klacht, gevolgd door buikgriep, luchtweginfecties en Khumbu cough, een aanhoudende hoest door irritatie van de luchtwegen, die voor mijn pijnlijke keel zorgde. Berggids Gelu Sherpa herkent dat klachtenbeeld. In de zeventien jaar dat hij groepen in de Himalaya begeleidt, zag hij vooral jonge mensen die te snel omhoog wilden en daardoor hoogteziekte kregen. "Maar de mensen die ik per helikopter heb laten evacueren, zijn gelukkig op één hand te tellen."

De kans op acute hoogteziekte, of iemand er nu gevoelig voor is of niet, is makkelijk te verkleinen. De voornaamste oorzaak is dat mensen niet genoeg de tijd nemen. Ze zijn nu eenmaal in Afrika en willen dus snel even de Kilimanjaro op, én wilde dieren zien, én aan het strand liggen. Dat gaat ten koste van de gezondheid; naar schatting krijgt 80 procent van de klimmers op de Kilimanjaro last van hoogteziekte. Wanneer aan de hoogte is heel belangrijk om gezond de top te bereiken.

Het advies is om 'hoog te klimmen en laag te slapen' en daarbij niet hoger dan 500 meter boven de vorige slaaphoogte je slaappak in te duiken. Daarnaast is het belangrijk om na elke 1000 meter stijging in slaaphoogte een acclimatisatiedag in te lassen. Sherpa: "Dat betekent niet dat je een dag rust, maar dat je bijvoorbeeld 500 meter stijgt, en daarna terugkeert naar dezelfde slaapplek."

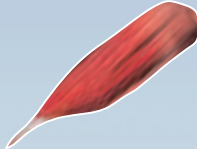
Ondanks dat veel mensen problemen ont-

ademhaling

Op grote hoogte is er door de lagere druk absoluut gezien minder zuurstof aanwezig. Om dat te compenseren ga je sneller ademen of zelfs hyperventileren.

longvocht

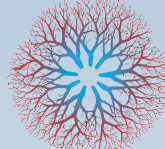
De bloedvaten in de longen worden nauwer waardoor de druk toeneemt. Haarvaten kunnen gaan lekken waardoor vocht de longen insijpelt.

vermoeidheid

Er is minder zuurstof beschikbaar voor de spieren. Daardoor slaat bij inspanning sneller de vermoeidheid toe.

vergeetachtigheid

De hersenen zijn erg gevoelig voor zuurstoftekort. Dat kan leiden tot coördinatiestoornissen en vergeetachtigheid.

dikker bloed

Het bloed wordt dikker. Op grote hoogte moet je vaker plassen. Ook de droge lucht en het vele ademen leiden tot vochtverlies. Bovendien gaat het lichaam na een aantal weken op hoogte extra rode bloedcellen aanmaken, om de zuurstofaanvoer te verbeteren. Daardoor neemt de kans op trombose toe.

Verschijselen als bij een kater

Mochten er symptomen van hoogteziekte optreden, dan is het van belang ze snel te herkennen. De eerste klachten zijn hoofdpijn, gebrek aan eetlust, moeheid, duizeligheid en slaapproblemen. Omdat dit aspecifieke klachten zijn, heeft niet iedereen meteen door dat hij hoogteziekte heeft. Het wordt vaak vergeleken met het gevoel van een kater. Als dit katergevoel aanhoudt, is de gouden standaard afdalen en eventueel zuurstof toedienen.

“Daarbij is het van belang af te dalen tot de hoogte waar je je nog goed voelde”, geeft Kortekaas aan. “Dat hoeft soms maar 300 tot 500 meter zijn. Het gunstige aan acute hoogteziekte is dat je situatie heel snel verbetert als je daalt.”

Naast acute hoogteziekte treedt bij een enkeling hoogte-hersenoedeem of hoogte-longoedeem op. Hersenoedeem ontstaat vaak na acute hoogteziekte. Door het zuurstoftekort gaan de bloedvaten in de hersenen wijd open staan en tegelijkertijd gaat de bloedvatwand lekken. Hierdoor neemt het volume van de hersenen toe. “Bij een aanhoudende hoofdpijn die niet wegtrekt met pijnstillers heb je waarschijnlijk hersenoedeem”, vertelt Kortekaas. “Als je daarnaast coördinatiestoornissen krijgt en wartaal uit gaat slaan, ben je in de gevarenzone en moet je zo snel mogelijk naar beneden”, voegt ze toe. Als afdalen door bijvoorbeeld slechte weersomstandigheden niet mogelijk is, kun je tijd winnen door het toedienen van zuurstof. “Een andere mogelijkheid is iemand in een zak te leggen waarin de druk met een pompje kunstmatig wordt verhoogd, om zo een lagere hoogte te simuleren. Ook zijn er twee medicijnen die kunnen helpen.

Longoedeem is een op zichzelf staande ziekte waar 3 tot 5 procent van de wandelaars boven de 4000 meter last van krijgt. Het is een overdreven reactie van de longen op de lage hoeveelheid zuurstof. De bloedvaten in de longen knijpen op sommige plekken samen waardoor er minder bloed door die delen gaat. Maar doordat de totale hoeveelheid bloed die door de longen gaat hetzelfde blijft, krijgen andere gebieden veel meer bloed te verwerken. Hierdoor kan plaatselijk de druk hoog oplopen waardoor de haarvaten gaan lekken en vocht de longen insijpelt. Dat kan ernstige gevolgen en zelfs overlijden tot gevolg hebben als je er niet op tijd bij bent.

Maakt niet uit.

wikkelen op grote hoogte, kunnen mensen op het Tibetaans hoogland er prima leven. Zij wonen en werken op een gemiddelde hoogte van 4500 meter. Wetenschappers ontdekten in 2007 dat dit onder meer kan omdat de Tibetanen wijdere bloedvaten hebben. Hun vaten verplaatsen twee keer zoveel bloed in een bepaalde tijd als Amerikanen die op zeeniveau wonen. Dat komt door opvallend hoge concentraties stikstofdioxide in hun bloed. Het gas wordt in de bloedvatwanden in de longen geproduceerd en komt van daaruit in het bloed, waar het onder andere nitriet en nitraat vormt. Dit veroorzaakt vaatverwijding.

Rode bloedcellen

Daarnaast ademen Tibetanen sneller, en hebben ze een grotere longcapaciteit. In 2010 ontdekte Rasmus Nielsen van de universiteit van Californië dat Tibetanen een mutatie in een bepaald gen hebben waardoor ze beter met lage zuurstofconcentraties kunnen omgaan. Als iemand die op zeeniveau leeft, afreist naar grote hoogte gaat zijn lichaam meer rode bloedcellen aanmaken, die voor het transport van zuurstof zorgen. Dat kan gevaarlijk zijn, want hoe meer cellen, hoe dikker het bloed. En hoe dikker het bloed, hoe hoger de bloeddruk en hoe groter de kans op een beroerte. Het gemuteerde gen van de Tibetanen voorkomt een overproductie aan rode bloedcellen.

Hoe ze aan die mutatie komen, schreef Nielsen in juli in het tijdschrift *Nature*. De verschillen met het normale gen waren zo groot dat de mutatie niet langzaam in de Tibetaanse lijn ontstaan kon zijn. Het gen moest wel van een

Toeristen willen snel even de Kilimanjaro op, én wilde dieren zien, én aan het strand liggen

andere groep mensen zijn overgenomen. Opvallend genoeg bleek dat de Denisovamens, een uitgestorven mensachtige waarvan nog niet veel bekend is. Nielsen denkt dat de moderne mens tussen de 30.000 en 40.000 jaar geleden seks heeft gehad met de Denisovamens, waar ze de nuttige versie van het gen aan te danken hebben. Draggers van het aangepaste gen deden het beter op grote hoogten en hun nakomelingen vestigden zich op het Tibetaans Hoogland, waardoor inmiddels 87 procent van de Tibetanen het gen heeft.

Voor degenen die niet over dit Denisovagen beschikken, ontwerpt de Amerikaan Robert Roach een test die voorspelt of iemand hoogteziekte zal ontwikkelen. Samen met collega's van het Altitude Research Center, liet hij in 2010 28 proefpersonen in een hyperbare kamer gesimuleerd naar 4876 meter gaan. Veertien van hen werden ziek. Van alle vrijwilligers nam hij bloedmonsters en isoleerde hun DNA. Na vergelijking van het DNA van de zieke en de gezonde vrijwilligers vond hij zes genen die in hoge concentraties tot expressie kwamen bij de zieke mensen.

Door alleen naar de expressiepatronen te kijken, kon hij met 95 procent zekerheid zeggen wie er ziek werden. Een jaar later nam hij 140 gezonde mannen en vrouwen mee naar 4000 meter hoogte om te kijken of dezelfde zes genen bepalend waren voor het ontwikkelen van hoogteziekte. De voorspelling was bijna waterdicht. Daarmee wekte hij de interesse van Defensie. Een soldaat die in berggebieden last krijgt van hoogteziekte is nutteloos en neem je als leger liever niet mee naar boven.

©TROUW: MICHEL VAN ELK