

Leiden hoogtestages tot betere prestaties ?

*Afstudeeropdracht fysiotherapie:
Robbert Profittlich, nr. 1524838
Begeleider: Jolanda Spruit
2 juni 2009
Hogeschool Utrecht, faculteit Gezondheidszorg*

Inhoudsopgave

<i>Samenvatting</i>	3
<i>Inleiding</i>	3
<i>Methode van onderzoek</i>	5
<i>Welke strategieën zijn er ?</i>	5
<i>Studie Levine, 1997</i>	6
<i>Methode</i>	6
<i>Resultaten</i>	8
<i>Studie Bonetti, 2009</i>	9
<i>Methode</i>	9
<i>Resultaten</i>	9
<i>Discussie</i>	10
<i>Conclusies</i>	12
<i>Literatuur</i>	13

Samenvatting

Coaches hebben lange tijd gedacht, dat door lichamelijke veranderingen tijdens een hoogtestage waarbij zowel op hoogte geleefd als getraind wordt, de prestaties verbeteren, maar veel studies hiernaar hebben dit niet kunnen bevestigen. De focus van het onderzoek is sinds het begin van de jaren '90 verschoven van de klassieke hoogtetraining (LHTH, hoog leven en hoog trainen) naar een nieuwe vorm van hoogtetraining waarbij er op hoogte geleefd en op zeeniveau getraind wordt (LHTL, hoog leven, laag trainen). In deze literatuurstudie is het doel om een antwoord te krijgen op de vraag of duursporters die hoog leven en laag trainen (LHTL) een betere aërobe prestatie in wedstrijden op zeeniveau neerzetten dan duursporters die hoog leven en hoog trainen (LHTH). In PubMed is gezocht naar de meest recente artikelen (niet ouder dan 5 jaar) die over deze twee hoogtetrainings strategieën gaan.

Er blijken in de geselecteerde artikelen grote verschillen te bestaan tussen de gevolgde protocollen en randvoorwaarden. Ondanks dit kan gezegd worden dat duursporters die de LHTL strategie volgen, een grote kans op een prestatieverbetering in wedstrijden op zeeniveau hebben in vergelijking met de duursporters die de LHTH strategie volgen.

Inleiding

Als een atleet uit een laag gelegen land, op hoogtestage gaat, zal het tekort aan zuurstof hem in het begin beperken in zijn absolute trainingsintensiteit en daardoor ook in zijn prestaties. Met een lagere absolute trainingsintensiteit op hoogte wordt bedoeld dat bij een zelfde hartslag op hoogte de trainingssnelheid lager ligt en een kleinere afstand wordt afgelegd. Echter na een aantal weken op hoogte is het lichaam van de atleet aangepast aan de zuurstofarme omstandigheden en is de absolute trainingsintensiteit zo goed als op het oude niveau. Als deze atleet weer naar zeeniveau terugkeert, zullen de lichamelijke aanpassingen zoals een toename van het aantal rode bloedcellen, leiden tot een betere prestatie vanwege een toename van het zuurstoftransporterende vermogen van het bloed (Levine 1997).

Hierbij wordt van uitgegaan dat op grote hoogte de zuurstofdruk van de lucht lager is. Daardoor komt er minder zuurstof in het bloed, waardoor de nieren (meer) erythropoëetine afgeven. Erythropoëetine (EPO) is een hormoon, dat door de nier wordt gemaakt en dat de vorming van rode bloedcellen in het lichaam stimuleert. Andere lichamelijke aanpassingen aan hoogte zijn een toename van het totale bloedvolume en verbeterde zuurstoftoevoer naar de spieren (Mazzeo, 2008).

Blootstelling aan acute hoogte leidt tot een erythropoëetine -productie die proportioneel is met de mate van hypoxische stress: hoe groter de hoogte, des te groter de erythropoëetine -productie (Wilber, 2007). Maar bij toenemende hoogte, neemt ook de kans op hoogteziekte toe. Symptomen van hoogteziekte zijn hoofdpijn, vermoeidheid, overgeven, duizeligheid, bloedneus en verminderde eetlust.

Hoewel EPO in de eerste uren na aankomst op hoogte sterk toeneemt is meer tijd nodig om een toename van de hoeveelheid rode bloedcellen te bewerkstelligen.

Trainers hebben lange tijd gedacht, dat door bovengenoemde lichamelijke veranderingen tijdens een hoogtestage waarbij zowel op hoogte geleefd als getraind wordt, de prestaties verbeteren, maar veel studies hiernaar hebben dit niet kunnen bevestigen (Bonetti, 2009). Onderzoekers menen dat de voordelen van de lichamelijke aanpassingen wel eens teniet kunnen worden gedaan door een verlies aan snelheid wat weer het gevolg is van de lagere absolute trainingsintensiteit op hoogte (Levine, 1997). De focus van het onderzoek is sinds het begin van de jaren '90 verschoven van de klassieke hoogtettraining (LHTH, hoog leven en hoog trainen) naar een nieuwe vorm van hoogtettraining waarbij er op hoogte geleefd en op zeeniveau getraind wordt (LHTL, hoog leven, laag trainen). Deze twee vormen van hoogtettraining krijgen in de media ook de meeste aandacht. Er is veel bekend over de fysiologische aanpassingen aan hoogte (Mazzeo, 2008), maar wat zijn de gevolgen na een hoogtettraining in de praktijk bij een aerobe prestatie zoals een 5000 meter hardloophwedstrijd? In deze literatuurstudie worden de twee strategieën met elkaar vergeleken en wordt er een antwoord gegeven op de vraag of hoogtettraining kan leiden tot betere prestaties op zeeniveau. Voor de fysiotherapeut is deze onderstaande vraagstelling relevant, voor hen die zich bezig houden met de begeleiding van (top)sporters en aan de hand van de uitkomsten van deze studie rekening kunnen houden met de manier van trainen tijdens een hoogtestage. De vraagstelling is als volgt:

Kunnen duursporters die hoog leven en laag trainen een betere aërobe prestatie in wedstrijden op zeeniveau neerzetten dan duursporters die hoog leven en hoog trainen?

In deze literatuurstudie zal in de methode beschreven worden hoe de gebruikte artikelen in PubMed gevonden zijn. Uitgelegd wordt met welke trefwoorden is gezocht en welke inclusie- en exclusiecriteria zijn gebruikt bij de uiteindelijke selectie van de literatuur. Vervolgens worden in het hoofdstuk 'Welke strategieën zijn er' uitgelegd hoe deze vormen van hoogtettrainingen er in de praktijk uitzien. Beschreven wordt op welke hoogte geleefd en getraind wordt en wat de verschillen zijn tussen de LHTH-strategie en LHTL-strategie. Daarna wordt de LHTL-strategie beschreven aan de hand van de studie van Levine (1997). Het volgende hoofdstuk vertelt hoe Bonetti (2009) een meta-analyse heeft uitgevoerd met betrekking tot hoogtettrainingen. Uitgelegd wordt hoe de selectie van literatuur heeft plaatsgevonden en wat de uitkomsten zijn als gekeken wordt naar de prestaties van duursporters op zeeniveau na hoogtettraining. Vervolgens wordt er in de discussie kritisch gekeken naar de onderzochte strategieën en wordt er ten slotte in het kopje conclusies antwoord gegeven op de vraagstelling.

Methode van onderzoek

In PubMed is gezocht naar bruikbare artikelen om de vraagstelling te kunnen beantwoorden. Tevens heb ik in het Nederlandse Vakblad Sportgericht informatie gezocht over dit onderwerp. Trefwoorden die gebruikt zijn, zijn 'performance', 'hypoxia', 'living-high', 'training-high'.

Een inclusie criterium is het jaartal van het artikel: het artikel mag niet ouder zijn dan 2005, uitgezonderd artikelen waarnaar verwezen wordt zoals de studie van Levine (1997). Verder dienen in het artikel de prestaties gemeten te zijn in tijd. De doelgroep moet uit duursporters bestaan. Tevens zijn alleen artikelen gebruikt waarbij de resultaten van gecontroleerd onderzoek in beschouwing zijn genomen. Artikelen die ouder zijn dan 2005, artikelen waar geen prestatiemetingen zijn uitgevoerd of waar geen duursporters als doelgroep zijn genomen zijn niet meegenomen in de selectie van literatuur. Uiteindelijk zijn 9 artikelen geselecteerd. Van 2 van deze artikelen is een Pedro-score bepaald.

Gekozen is voor de bespreking van de studie van Levine (1997) omdat deze studie hoog scoort op de Pedro schaal (8/11). Ingegaan wordt op de manier van trainen, de indeling in de verschillende groepen en de prestatie verschillen tussen de groepen.

Wat opvalt bij het zoeken naar informatie over hoogtetrainingen is dat er heel veel studies zijn die fysiologische aanpassingen aan hoogte onderzoeken. In veel van deze artikelen wordt vervolgens aan de hand van deze fysiologische veranderingen te snel een conclusie getrokken dat dit eveneens tot prestatieveranderingen leidt. Er zijn slechts weinig artikelen waarbij een onderzoek wordt uitgevoerd waarbij sporters geëvalueerd worden voorafgaand en na afloop van een hoogtetraining door middel van tijdmetingen bij een aerobe prestatie op zeeniveau zoals een 5000 meter wedstrijd.

Welke strategieën zijn er?

Variaties in de combinatie van blootstelling aan hoogte en inspanning op zeeniveau of op hoogte leiden tot verschillende strategieën. Doel van elk van deze strategieën is het verbeteren van de prestatie. In deze literatuurstudie worden de LHTH-strategie (hoog leven, hoog trainen) en de LHTL-strategie (hoog leven, laag trainen) nader onderzocht omdat LHTH de traditionele benadering van hoogtetraining is en LHTL een nieuwe vorm van hoogtetraining is die de laatste jaren aan populariteit wint (Truijens, 2005).

De LHTH-strategie is de traditionele hoogtetraining. Door het op hoogte leven en trainen zal het lichaam zich aanpassen aan de hoogte (acclimatisatie-effect). Daardoor neemt het aantal rode bloedcellen per liter bloed toe en hiermee ook het zuurstofvervoerend vermogen van het bloed (Levine, 1997).

Bij de LHTL-strategie leeft de sporter op hoogte, waardoor eveneens het acclimatisatie-effect optreedt, maar de sporter voert zijn trainingen uit op zeeniveau. Daardoor blijft dezelfde absolute trainingsintensiteit gehandhaafd zoals de sporter gewend is op zeeniveau (Truijens, 2005).

Studie van Levine

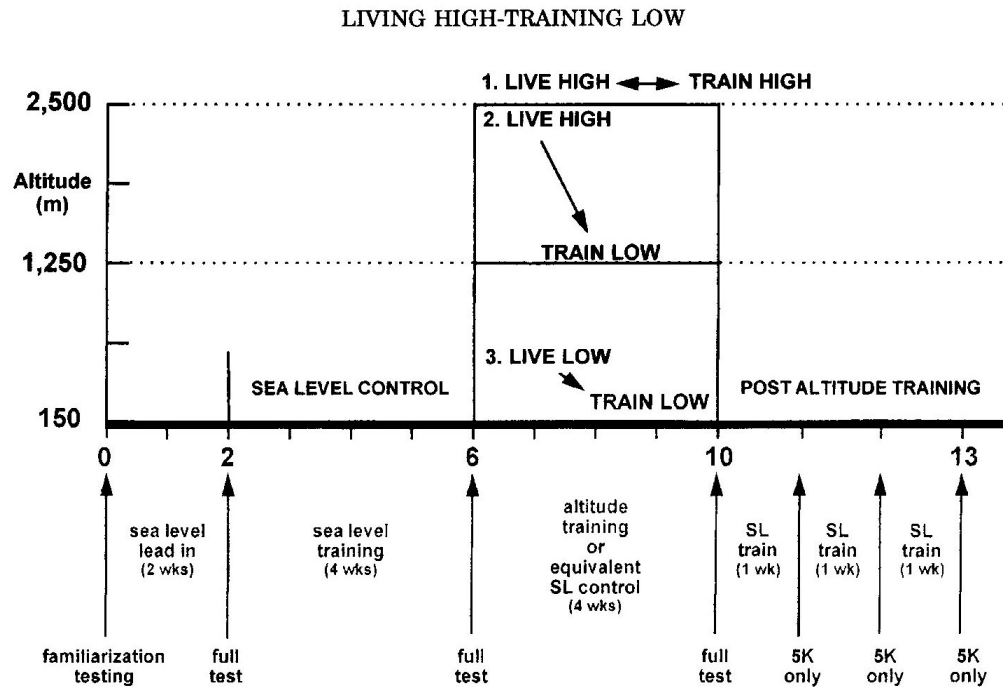
Method

In 1997 is een studie uitgevoerd door Levine e.a. met als doel de hypothese 'acclimatisatie aan hoogte en training op laagte verbetert de prestatie op zeeniveau' te bevestigen. Voor deze studie zijn 39 goed getrainde hardlopers van studentenhardloopverenigingen geselecteerd, waarvan er 12 vrouw zijn. De leeftijd varieert tussen de 18 en 31 jaar oud. Selectie geschiedde op basis van de beste 5000 meter tijd in een wedstrijd gelopen (vrouw < 18:30, man < 16:30). Verder dienen de atleten deel te nemen aan wedstrijden die qua afstand liggen tussen de 1500 meter en marathonaafstand. Alle atleten dienden op zeeniveau te leven en mochten niet tot 10 maanden vooraf aan het onderzoek langer dan 1 week boven de 1500 meter hebben doorgebracht.

De hoogtetraining bestaat uit 4 fasen (zie figuur 1). In de eerste fase, die 2 weken duurt, worden alle atleten bij elkaar gebracht en raken zij bekend met de manier van trainen en de testprocedures. Dit is gedaan om het trainingseffect wat van invloed kan zijn op de resultaten te minimaliseren. In de tweede fase, welke 4 weken duurt, ondergaan de atleten een trainingsprogramma waarvan de eerste 3 weken de absolute trainingsbelasting toeneemt en waarbij in de vierde week een verminderde absolute trainingsbelasting en meer rust op het programma staan. Tevens is vooraf aan deze fase een eerste tijdmeting gedaan op een wedstrijd over 5000 meter. Deze tijd geldt als basis meting. Alle trainingen en metingen hebben op zeeniveau plaatsgevonden en zijn onder toezicht verlopen. Er is getraind op hartslag zodat er min of meer op dezelfde intensiteit getraind is. Verder is de duur van de training strikt gehandhaafd om verschillen te voorkomen. Na afloop van deze tweede fase is opnieuw de tijd gemeten over een 5000 meter wedstrijd.

Na de eerste twee fasen vindt de daadwerkelijke hoogtetraining plaats, fase 3, die 4 weken duurt. Er worden 3 groepen ingedeeld. De eerste groep betreft atleten die hoog trainen en hoog leven (LHTH), de tweede groep betreft atleten die hoog leven en laag trainen (LHTL) en de derde groep is de controlegroep (CG) die laag leeft en laag traint. Om gelijkwaardige groepen te krijgen vindt een gebalanceerde gerandomiseerde toewijzing plaats. Dit betekent dat de verhouding wat geslacht betreft gelijk moet zijn in elke groep. Verder dient de gemiddelde 5000 meter tijd per groep niet significant van de andere groepen te verschillen. De hoogtetrainingen voor de LHTH groep en LHTL groep vindt plaats in de bergen van Utah, Deer Valley. De hoogtes waarop de groepen trainen verschillen (zie tabel 1). De hoogte waarop zij leven verschilt niet. De controle groep leeft en traint in Dallas op zeeniveau. Het trainingsprogramma is analoog aan dat van de vorige fase. Na afloop van deze hoogtetrainingsfase wordt in de vierde fase, de terugkeer op zeeniveau fase, de eerste week op de derde en zevende dag een 5000 meter wedstrijd gelopen. Iedere keer als er een 5000 meter wedstrijd wordt gelopen worden de omstandigheden zoals luchtvochtigheid, temperatuur en windsnelheid gemeten. Tevens heeft elke atleet een eigen logboek waarin hij noteert hoe fit hij zich voelt, wat hij eet en drinkt, wat het gewicht is en hoe de nachtrust is geweest.

De 5000 meter wedstrijden hebben plaatsgevonden op een 400 meter baan op zeeniveau nabij Dallas. Tijdstip van de wedstrijd is elke keer tussen 7:00 en 8:00 AM geweest. Om loopstrategieën te voorkomen zijn de atleten verspreid gestart met minimaal 2 minuten ertussen. Er zijn nauwelijks verschillen geweest in de windsnelheid, temperatuur en luchtvochtigheid tijdens de wedstrijden.



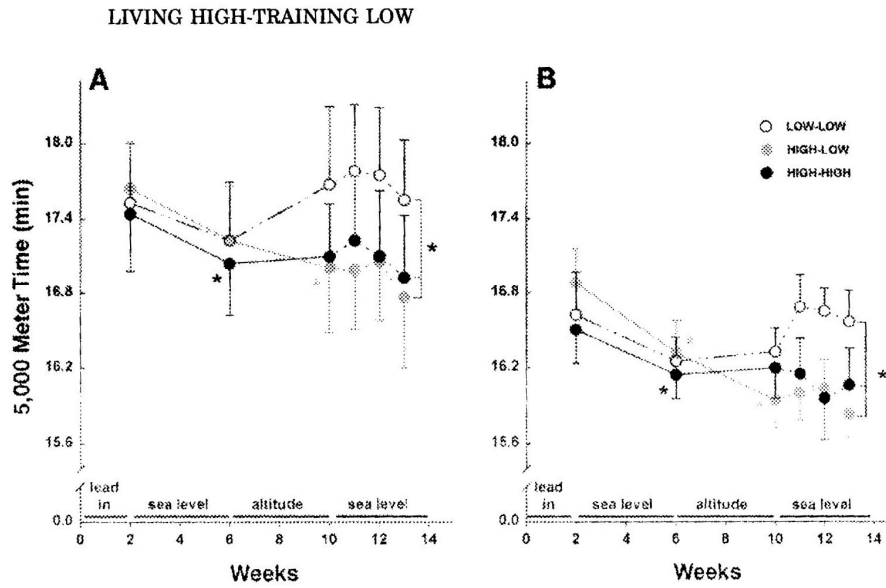
Figuur 1: tijdslijn hoogtetraining voor 3 groepen (Levine, 1997)

Tabel 1: leef- en trainingshoogtes voor drie groepen voor fase 3 uit studie Levine (1997)

strategie	LHTL (leef hoog, train laag)	LHTH (leef hoog, train hoog)	CG (controlegroep)
Leven	2500 m	2500 m	150 m
Training	1250 m	2500 m	150 m
Prestatiemeting	150 m	150 m	150 m

Resultaten

De 5000 meter tijd is voor alle drie de groepen sneller na 4 weken training op zeeniveau ($22,3 \pm 5$ seconden, $P < 0,05$). Na de derde fase, de hoogtetraining, is de tijd op de 5000 meter alleen voor de LHTL groep verbeterd ($13,4 \pm 10$ seconden, $P < 0,05$) terwijl de LHTH groep en CG geen prestatieverbeteringen laten zien (zie figuur 2).



Figuur 2: 5000 meter tijden voor mannen en vrouwen (A) en alleen mannen (B) na hoogtestage (Levine, 1997)

Studie van Bonetti

Methode

Begin 2009 is een 'review article' verschenen van Bonetti. Hij heeft een meta-analyse uitgevoerd naar studies die gaan over hoogtetrainingen en bijbehorende aerobe prestaties op zeeniveau. Hij heeft gezocht in PubMed, SportDiscus en Google Scholar naar artikelen en die niet ouder zijn dan 2007. Wel zijn originele onderzoeksartikelen meegenomen waarnaar verwezen is in recente artikelen. De focus van zijn meta-analyse is de prestatie op zeeniveau gemeten bij een aerobe activiteit. Zeeniveau is gedefinieerd als 1000 meter en lager. Uiteindelijk zijn 51 bruikbare artikelen geselecteerd. Studies die niet meegenomen zijn, zijn ongecontroleerde studies, een studie met een lage toewijding tot training, een studie waarbij een niet-specifieke test werd gedaan om de prestatie te meten en een studie waarbij een prestatieverbetering van 19% het geval was, terwijl dit voor de andere studies in de orde van grootte van 1 tot 4 % is.

Atleten zijn niet geselecteerd op tijd. Zowel topsporters als recreatieve sporters zijn meegenomen in de analyse. Duursporters die in de onderzoeken zijn getest zijn hardlopers, fietsers, zwemmers, triatleten, skiers en adventure racers.

Resultaten

Uit de analyse van Bonetti (2007) volgt dat de LHTL strategie de prestatie verbetert voor topsporters ($4,0 \pm 3,7\%$, $P < 0,1$) en voor recreatieve sporters ($4,2 \pm 2,9\%$, $P < 0,1$). De prestaties zijn niet of nauwelijks verbeterd door het volgen van de LHTH strategie (zie tabel 2).

Tabel 2: prestatieveranderingen na het volgen van LHTL en LHTH voor topsporters en recreatieve sporters (Bonetti, 2009)

strategie	Prestatie LHTL (leef hoog, train laag)	Prestatie LHTH (leef hoog, train hoog)
Elite	$4,0\% \pm 3,7\%$ ($P < 0,1$)	$1,6\% \pm 2,7\%$ ($P < 0,1$)
Subelite	$4,2\% \pm 2,9\%$ ($P < 0,1$)	$0,9\% \pm 3,4\%$ ($P < 0,1$)

Discussie

In de studie van Levine (1997) wordt er getraind op 1250 meter in de LHTL groep. Omdat deze strategie uitgaat van hoog leven en laag trainen, rijst de vraag of er niet te hoog getraind is. Beter was het geweest als de atleten op een niveau getraind hadden, want dan was de absolute trainingsbelasting (cq. trainingssnelheid) hoger geweest dan nu het geval was. Nu is er eerder sprake van een strategie die het midden houdt tussen LHTH en LHTL. Door deze hoogte kan men niet spreken van een zuiver LHTL scenario en zijn er daarom geen duidelijke uitspraken te doen over het effect van deze hoogtetrainings strategie. De verschillen in uitkomsten in de studie van Levine (1997) tussen de beide strategieën hadden mijns inziens zelfs groter en duidelijker geweest als er werkelijk op een niveau getraind was.

In deze studie zijn 39 atleten geselecteerd. Elke groep bestaat uit slechts 13 atleten. Dit is statistisch gezien een klein aantal. Op basis van zo weinig metingen wordt het ook moeilijk om heldere uitspraken te doen. Het gemiddelde verandert bij kleine aantallen snel als gevolg van bijvoorbeeld een meetfout of een deelnemer die een slechte dag heeft.

De onderzoekers wisten welke atleten in welke groepen zaten. En de atleten wisten ook in welke groep zij zaten. Atleten die weten dat zij in de LHTL groep zitten zijn mijns inziens waarschijnlijk gemotiveerder dan atleten die weten dat zij in de LHTH of controlegroep zitten. De eerste groep wil graag laten zien dat hun hoogtetraining voor betere prestaties zorgt. De laatste twee groepen weten dat zij meedoen ter controle of ter vergelijking van de groep die wel de ideale hoogtetraining volgt.

Ook degenen die de metingen verrichten weten welke atleten in welke groepen zitten. Ook zij zullen onbewust scherpere metingen verrichten. Door het ontbreken van een dubbel geblindeerd onderzoek kunnen verschillen ontstaan die eerder te maken hebben met motivatieverschillen dan met prestatieverschillen. Het gevolg is dat de mogelijke verschillen die er in uitkomsten zijn tussen de twee strategieën vergroot wordt door het niet blinderen van de atleten, onderzoekers en meters.

Bonetti heeft in zijn meta-analyse gekeken naar studies die uitgaan van een verblijf op hoogte tussen 8 en 18 uur. Wilber (2007) heeft onderzocht dat er een relatie bestaat tussen de duur op hoogte en de aanmaak van rode bloedcellen. Volgens zijn studie waarbij 48 duursporters betrokken waren, vindt een duidelijke aanmaak van rode bloedcellen pas plaats na 16 uur. Korter verblijf op hoogte geeft nauwelijks extra aanmaak van rode bloedcellen. Volgens Brugniaux (2006) en Levine (1997) is er een relatie aanwezig tussen de veranderingen in rode bloedcellen en de prestaties. Als we hen geloven, zijn bij een deel van de geselecteerde studies door Bonetti de atleten te kort op hoogte geweest om prestatieverbeteringen aan te kunnen tonen. Ten tweede is volgens Wilber (2007) de absolute hoogte ook van belang. In zijn studie blijkt de ideale hoogte tussen 2500 en 2800 meter te liggen. Een hoger verblijf leidt tot hoogteziekte en een lager verblijf kan leiden tot te weinig acclimatisatie-effect. Ten slotte is de periode van hoogtetraining ook van belang (Wilber, 2007). Hij gaat er van uit dat minimaal 2 tot 3 weken nodig zijn om lichamelijke aanpassingen te verkrijgen. Richalet (2008) raadt aan om minimaal 18 dagen op een hoogte van 2500 meter te verblijven waarbij de atleet minimaal 12 uur per dag 'leeft'. Aangezien deze randvoorwaarden voor een ideale hoogtetraining strategie LHTL volgens Wilber

(2007) of Richalet (2008) niet meegenomen zijn in de analyse van Bonetti (2009), zijn de uitkomsten daardoor voor deze strategie ook minder duidelijk. Er zitten studies tussen die waarschijnlijk door andere randvoorwaarden totaal andere prestatieveranderingen laten zien. Dit heeft invloed op de gemiddelde verandering in prestatie die uiteindelijk berekend wordt. Ik denk dat daardoor de gemiddelde prestatieveranderingen die Wilber (2009) berekend heeft aan de lage kant uitvallen door de niet- ideale randvoorwaarden die in sommige onderzoeken van toepassing zijn.

Ook verschillen de gevolgde protocollen per studie. Brugniaux (2006) heeft gekozen voor een periode van 4 dagen trainen op zeeniveau voorafgaand aan de hoogtetraining. Levine (1997) heeft vooraf aan de eigenlijke hoogtetraining de atleten eerst 6 weken op zeeniveau laten trainen om het trainingseffect te minimaliseren en de atleten te laten wennen aan de trainingsmethoden en testprocedures. Stray-Gundersen (2008) heeft een variant van LHTL onderzocht waarbij de atleten op hoogte leven en duurtraining doen, terwijl de intensieve (interval) training op laagte plaatsvindt. Al deze verschillen in gevolgde protocollen geven een onduidelijk beeld over de effecten van deze vorm van hoogtetraining LHTL op de prestatie op zeeniveau. Mijns inziens zou bij het volgen van het ideale protocol de prestatieveranderingen alleen maar groter zijn dan nu het geval is.

In deze studie zijn artikelen geselecteerd waarbij de aerobe prestatie gemeten is in tijd bij een wedstrijd op zeeniveau. Brugniaux (2006) heeft de metingen uitgevoerd op een loopband waarbij de VO_2 -max waarde voorafgaand en na afloop van de hoogtestage is gemeten. Echter uit de studie van Bonetti (2009) komt naar voren dat het verband tussen VO_2 -max waarde en de prestatie zwak is, waardoor niet geconcludeerd kan worden of prestatieveranderingen hebben plaatsgevonden na het volgen van de hoogtestage.

Ten slotte laat Chapman (1998) in zijn studie zien dat er individuele verschillen in reactie op hoogte zijn tussen de atleten. Hij spreekt van responders en non-responders. Volgens hem hebben responders een significant grotere toename van aanmaak van erythropoetine (EPO) als gevolg van hoogte versus de non-responders. Dit betekent dat het acclimatisatie-effect en de hierbij behorende toename van rode bloedcellen per persoon verschilt en dat er ook personen zijn waarbij nauwelijks acclimatisatie optreedt. Met dit gegeven is in geen enkele studie rekening gehouden, waardoor de prestatieverbetering lager uitvalt dan waarbij wel rekening was gehouden met de verschillen tussen personen in reactie op hoogte.

Conclusies

Bijna iedereen heeft wel een mening over de effectiviteit van hoogtestages. Wat vergeten wordt is dat er zeer veel verschillende vormen van hoogtestages zijn en dat er daarom niet direct een antwoord op gegeven kan worden zonder nuances aan te brengen. Ondanks de verschillen in gevolgde protocollen en verschillen in randvoorwaarden en het feit dat niet rekening is gehouden met non-responders in de behandelde studies zijn mijns inziens prestatieverbeteringen mogelijk na het volgen van een hoogtestage. De LHTL strategie is op basis van deze literatuurstudie de strategie die er mogelijk toe leidt dat duursporters de aerobe prestaties op een niveau in wedstrijden verbeteren na het volgen van een hoogtetraining waarbij op hoogte wordt geleefd en op laagte wordt getraind, terwijl de aerobe prestaties voor duursporters die op hoogte leven en op hoogte trainen waarschijnlijk niet of nauwelijks verbeteren. De LHTL strategie combineert het voordeel van het acclimatisatie-effect met het behoud van een hoge absolute trainingsbelasting.

Literatuur:

- Bonetti DL, Hopkins WG: Sea-Level Exercise Performance Following Adaptation to Hypoxia. *Sports Medicine* 39 (2): 107-127, 2009.
- Brugniaux L, Schmitt L, Robach P, Nicolet G, Fouillot J, Mouterau S, Lasne F, Pialoux V, Saas P, Chorvot M, Cornolo J, Olsen NV, Richalet J: Eighteen days of living high, training low stimulate erythropoiesis and enhance aerobic performance in elite middle-distance runners. *J Appl Physiol* 2006; 100: 203-11.
- Chapman, R.: Individual variation in response to altitude training. *J Appl Physiol* 1998; 85: 1448-56.
- Levine D, Stray-Gundersen J.: Living high-training low: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *Journal of Applied Physiology* 83: 102-112, 1997.
- Mazzeo, R.: Physiological responses to exercise at altitude. *Sports Medicine* 2008; 38(1):1-8.
- Richalet J, Gore CJ: Live and/or sleep high: train low, using normobaric hypoxia. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 2008; 18 (Suppl 1): 29-37.
- Stray-Gundersen B, Levine D: Live high, train low at natural altitude. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 2008; 18 (Suppl 1): 21-28.
- Truijens M, Toussant H, Levine B: Hoogtettraining binnen de zwemsport: wetenschap of religie ? (deel 2). *Sportgericht, vakblad voor training, onderwijs en wetenschap* 59^e jaargang, nummer 2, mei 2005.
- Wilber RL, Stray-Gundersen J: Effect of Hypoxic Dose on Physiological Responses and Sea-Level Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*: 1590- 1599, 2007.