

Het effect van exogene koolhydraatsuppletie op aerobe inspanning bij directe blootstelling aan 2500 meter hoogte.

Quint Baars

480264

Sport, Gezondheid & Management

Gezondheid, Gedrag en Maatschappij

Hogeschool Arnhem & Nijmegen (HAN)

Afstudeerbegeleider: Gert Vriend

Meelezer: Martijn Kamper

Februari 2014 – Juni 2014

22-05-2014

Samenvatting

Introductie

Momenteel wordt er bij aerobe inspanning op gemiddelde hoogte gewerkt met dezelfde richtlijnen voor koolhydraatname als op zeeniveau. Deze aanbeveling bestaat uit 5-10ml water per kilo lichaamsgewicht met 6 tot 8% koolhydraten, 15 minuten voor een aerobe inspanning van minimaal 30 minuten (Burke, 2007). Er is momenteel nog weinig bekend of dit ook toereikend is voor de condities op hoogte. Doelstelling bij dit onderzoek is aanbevelingen op het gebied van koolhydraatname voor aerobe inspanning te kunnen doen aan Tjieu Maas, van het kennisteam Sport- & Exercise Nutrition, om prestaties bij acute blootstelling aan hoogte te verbeteren.

Methode

Veertien getrainde duuratleten hebben het onderzoeksprotocol doorlopen in vier verschillende condities: zeeniveau (A), 2500 meter hoogte (B), 2500 meter hoogte met 25 gram koolhydraten (C) en 2500 meter hoogte met 50 gram koolhydraten (D). Hierbij begonnen de deelnemers met een weerstand van 100 Watt. Deze weerstand werd elke vijf minuten met 25 Watt verhoogd, tot zij 90% van de maximale hartfrequentie bereikten, de zuurstofsaturatie in het bloed daalde tot onder de 87,5% of zij zelf aangaven te willen stoppen. Indirecte calorimetrie werd gebruikt als meetmethode om de zuurstofconsumptie en koolstofdioxideproductie in kaart te brengen, om hiermee de aerobe efficiëntie en het respiratoir quotiënt te meten. Het respiratoir quotiënt werd in kaart gebracht door de zuurstofconsumptie ten opzichte van de koolstofdioxideproductie te meten. Aerobe efficiëntie wordt gemeten door de weggetrapte wattage te delen door de hoeveelheid gebruikte zuurstof. Daarnaast werd de maximale inspanning gemeten in

wattage en werd de Rate of Perceived Exertion (RPE), oftewel de subjectieve beleving van de deelnemers aan de hand van een borgschaal in kaart gebracht.

Resultaten

Er werd een significant lager prestatievermogen gemeten bij de protocollen op hoogte in vergelijking met protocol A op zeeniveau. Het prestatievermogen werd niet beïnvloed door de suppletie van koolhydraten (protocol C en D). De RPE lag significant lager bij koolhydraatsuppletie op hoogte bij protocol C ($P= 0,00$) en vertoont een trend in protocol D ($P= 0,084$) in vergelijking tot protocol A en protocol B zonder koolhydraatsuppletie. Koolhydraatsuppletie leidde tot een lagere RPE. De RQ vertoonde geen significante verschillen tussen de vier verschillende protocollen. De aerobe efficiëntie werd niet verbeterd door koolhydraatsuppletie, en ging achteruit bij protocol D bij een hoeveelheid van 50 gram koolhydraten. De aerobe efficiëntie lag bij C ($P= 0,047$), en bij D ($P= 0,008$) significant lager in vergelijking met B.

Conclusie

Er waren geen significante verschillen qua prestatieniveau op hoogte tussen suppletie met 25 of 50 gram koolhydraten in vergelijking met water. Er werd bij koolhydraatsuppletie iets beter gescoord op de RPE van de proefpersonen. Dit zou mogelijk een indicatie kunnen zijn dat de huidige richtlijn voor aerobe duurinspanning van 30 minuten of langer, gelijk kan blijven met de huidige bestaande richtlijnen. Suppletie van 50 gram koolhydraten gaf een licht negatief effect op het prestatievermogen en aerobe efficiëntie.

Er wordt aanbevolen vervolgonderzoek te doen naar de effecten van koolhydraatsuppletie met kleinere verhogingen van de weerstand aan het eind

van ieder protocol, waarmee kleinere verschillen mogelijk beter zichtbaar worden. Ook wordt aangeraden om minder tijd tussen de protocollen te hebben, waardoor de fitheid van de proefpersonen per protocol niet veel kan veranderen.

Introductie

In de voorbereiding van hun wedstrijden maken steeds meer atleten gebruik van hoogtekamers, om door middel van acute blootstelling aan hoogte een vergroot trainingseffect tot stand te brengen.

Hoogtekamers zijn voorzien van apparatuur die op exacte wijze een zuurstofarm klimaat tot stand brengen, en de atleet in staat stellen zich aan te passen aan deze omstandigheden.

Onderzoek toont aan dat acute blootstelling aan hoogte leidt tot een toename in het totale koolhydraatverbruik voor de energielevering van het menselijk lichaam (Burke, 2007). Ook het totale energiegebruik neemt toe bij acute blootstelling aan hoogte (McArdle, 2010). Om dit effect zo min mogelijk van invloed te laten zijn op de aerobe prestatie, zou het wenselijk kunnen zijn om hier specifieke voedingsrichtlijnen met betrekking tot koolhydraatinname voor te ontwikkelen.

Er bestaan reeds richtlijnen voor koolhydraatsuppletie op zeeniveau, maar er is momenteel nog weinig onderzoek gedaan naar koolhydraatsuppletie op gemiddelde hoogte. In dit onderzoek wordt een hoogte van 2500 meter gesimuleerd, welke vergelijkbaar is met de hoogste bergen die worden beklommen tijdens de 'Tour du France'. De huidige richtlijnen die ook tijdens deze fietstochten worden gebruikt zijn gelijk met de richtlijnen op zeeniveau, waardoor atleten mogelijk niet hun maximale prestatie kunnen neerzetten, omdat de koolhydraatinname mogelijk niet voldoende is afgestemd op de behoefte.

De vraagstelling bij dit onderzoek is als volgt: 'wat voor een effect heeft de toevoeging van exogene koolhydraten een kwartier voor het begin van de inspanning wanneer men traint onder acute blootstelling aan hoogte.'

Doelstelling bij dit onderzoek is aanbevelingen op het gebied van koolhydraatinname voor aerobe inspanning te kunnen doen aan Tjieu Maas, van het kennisteam Sport- & Exercise Nutrition, om prestaties bij acute blootstelling aan hoogte te verbeteren.

Theorie

Invloed van hoogte op het lichaam

Atmosferische verschillen tussen zeeniveau en hoogte leiden tot aanzienlijke verschillen in verschillende lichaamsprocessen. De rusthartslag ligt hoger op hoogte, en de ademhalingsfrequentie neemt toe waardoor de longen meer lucht per minuut te verwerken krijgen. De hoeveelheid zuurstof die de longen binnen komt ligt lager door de ijle lucht, wat er toe leidt dat de maximale zuurstofopname, oftewel VO_{2max} , aanzienlijk lager komt te liggen naarmate de hoogte toeneemt (Pugh, 1964). De bloeddruk neemt toe, en het hartslagbereik ligt lager door de verhoogde rusthartslag. Het gevolg van bovengenoemde effecten is dat de inspanning op hoogte evenveel zuurstof kost in vergelijking met zeeniveau, maar dat het leveren van de benodigde hoeveelheid aanzienlijk meer moeite kost (McArdle, 2010).

De ijle lucht zorgt er voor dat er minder zuurstof beschikbaar is, wat leidt tot een hoger koolhydraatverbruik. Dat komt omdat koolhydraten de voorkeur krijgen wanneer het lichaam meer inspanning moet leveren, omdat het lichaam meer energie haalt uit koolhydraten per liter zuurstof dan uit vetzuren (Burke, 2007). Zolang de blootstelling aan hoogte plaatsvindt, zijn ook de fysiologische effecten merkbaar in zowel rust

als tijdens inspanning. Dit leidt tot een verhoogd energieverbruik, waarbij koolhydraten relatief gezien een groter aandeel leveren (McArdle, 2010).

Doordat de maximale zuurstofopname lager ligt op hoogte in vergelijking met zeeniveau, is hoogte sterk van invloed op de maximale aerobe prestatie die een atleet kan leveren (Aaron, 1992). Er bestaat een direct verband tussen aerobe prestatie en maximale zuurstofopname. Bij acute blootstelling op hoogte ziet men dan ook een drastische daling van de zuurstofverzadiging in het bloed, als gevolg van de verminderde zuurstofopname, terwijl de maximale hartslag gelijk blijft (Squares, 1982).

De eerder beschreven toename van het koolhydraataandeel in de totale energieconsumptie heeft met name te maken met de VO_{2max} die lager ligt op hoogte (Burke, 2011). Hierdoor komt inspanning makkelijker voorbij de 65% van het VO_{2max} waarop de maximale vetverbranding plaatsvindt. Wanneer het lichaam acuut wordt blootgesteld aan een hoogte van 2500 meter, dan ligt het aandeel vetzuren in de totale energieconsumptie lager, waardoor het koolhydraataandeel hoger komt te liggen en het lichaam dus ook meer afhankelijk wordt van koolhydraten voor de energielevering. Aan het einde van de inspanning en kort na de inspanning op hoogte vindt men hogere lactaatwaarden in het bloed dan tijdens of na inspanning op zeeniveau. Het is echter niet bekend of dit een gevolg is van een verhoogde afhankelijkheid van koolhydraten als brandstof voor de energielevering, of dat de oorzaak ligt bij een verminderd vermogen om lactaat effectief uit het lichaam te verwijderen (Coyle, 2002).

Invloed van koolhydraatname voorafgaand aan aerobe sportprestaties

Onderzoek heeft aangetoond dat koolhydraten de belangrijkste van de drie macronutriënten zijn wanneer het gaat om aerobe sportprestaties. Een koolhydraatrijke maaltijd voor de inspanning leidt tot het aanvullen van de beschikbare koolhydraatreserves, opgeslagen als glycogeen, en maken het mogelijk voor langere tijd een hogere intensiteit vol te houden (Coyle, 1985). Wanneer atleten drie tot vijf uur voor de inspanning nog koolhydraten nemen heeft dit een positief effect op de hoeveelheid glycogeen die opgeslagen ligt in het lichaam. Met name wanneer de atleet de hele nacht heeft geslapen en de lever nog maar weinig glycogeen bevat. Inname van koolhydraten in het laatste uur voor de inspanning heeft geen effect meer op de glycogeenreserves in de spieren, maar wel op de reserves van de lever. Hierdoor heeft de inname van koolhydraten binnen een uur voor de inspanning een positief effect op de hoeveelheid beschikbare koolhydraten tijdens de inspanning (Jeukendrup, 2010). Daarnaast hebben koolhydraatbronnen met een lage glycemische index een groter positief effect op het uithoudingsvermogen dan koolhydraatbronnen met een hoge glycemische index, hoewel deze door de verteerbaarheid wel een langere tijd voor de inspanning dienen te worden ingenomen in vergelijking met koolhydraten met een hoge glycemische index (Thomas, 1991).

Onderzoek heeft aangetoond dat het suppleren van koolhydraten tot maximaal 15 minuten voor inspanning een positief effect heeft op het aerobe prestatievermogen van sporters. Door de koolhydraatvoorraad in het lichaam te verhogen, kan de sporter meer koolhydraten gebruiken voor de

energielevering ten opzichte van vetzuren, wat het prestatievermogen ten goede komt (Brook, 1994). De algemene richtlijn voor duurinspanningen zijn 5-10 ml water per kilo lichaamsgewicht met 6-8% koolhydraten met een hoge glycemische index, zoals bijvoorbeeld dextrose, welke 15 minuten voor inspanning worden ingenomen. Teveel koolhydraten kort voor de inspanning kunnen leiden tot darmklachten en als gevolg hiervan een verminderd prestatievermogen (Burke, 2007).

Daarnaast heeft onderzoek aangetoond dat duuratleten beter presteren wanneer zij alleen koolhydraten proeven maar niet daadwerkelijk innemen. Het spoelen met een koolhydraathoudende drank leidde tot meer koolhydraatverbranding. Mogelijk zijn de receptoren in de mond in staat om de koolhydraten te herkennen en hierdoor de koolhydraatverbranding te stimuleren (Pottier, 2010).

Huidige voedingsrichtlijnen met betrekking tot koolhydraatinname bij het sporten op hoogte

Blootstelling aan hoogte heeft een grote invloed op de hoeveelheid energie die een persoon dient te eten op een dag. Het gebeurt vaak dat men bij verblijf op hoogte ziet dat men afvalt. Dit heeft er doorgaans mee te maken dat men te weinig energie tot zich neemt om aan de verhoogde energiebehoefte te voldoen. Hierdoor verliest het lichaam zowel vetreserves als spiermassa. Bovendien verliest men ook meer vocht door transpiratie wanneer men direct wordt blootgesteld aan hoogte (Kayzer, 1994). Het lichaam heeft op hoogte een hogere behoefte, terwijl de persoon zelf een verminderde eetlust heeft. Een verminderde energie-inname en verhoogde behoefte kan tot gevolg hebben dat de spiermassa in het lichaam afgebroken

wordt, en ook niet of te weinig herstelt van de trainingen (Butterfield, 1992).

Koolhydraten vormen een efficiëntere bron van energie voor de sporter op hoogte. De hoeveelheid energie die kan worden vrijgemaakt uit een liter zuurstof ligt bij koolhydraten hoger dan bij het gebruik van vetzuren. Koolhydraten leveren zo'n 5,05 Kcal per liter zuurstof, terwijl vet zo'n 4,69 Kcal per liter oplevert. Het lichaam heeft dus onder invloed van hoogte meer energie nodig, waarbij koolhydraten de meest efficiënte brandstof is ten opzichte van de zuurstofopname (Askew, 1996). De huidige richtlijnen voor aerobe fietsinspanning op zeeniveau bedragen 8-10 gram koolhydraten per kilo lichaamsgewicht per dag bij een intensieve aerobe inspanning van minimaal 30 minuten (Burke, 2007). Er bestaan nog geen exacte richtlijnen voor aerobe duurinspanning op hoogte, dus wordt meestal de bovenstaande richtlijn voor zeeniveau ook op hoogte gebruikt. Op basis van bovenstaande informatie over koolhydraatgebruik op hoogte, wordt verwacht dat de richtlijnen voor koolhydraatinname voor aerobe inspanning hoger zal liggen dan op zeeniveau.

Subjectieve perceptie van aerobe inspanning op hoogte

Zoals eerder aangegeven ligt de maximale zuurstofopname op hoogte aanzienlijk lager. Hierdoor liggen verschillende grenzen, zoals maximale vetverbranding en maximaal aeroob vermogen lager, waardoor het voor de sporter moeilijker wordt een hoge intensiteit te waarborgen (Askew 1997). Het resultaat is dat men sneller over gaat tot het anaerobe energiesysteem waarbij de lactaatconcentraties in het bloed steeds hoger worden (Mclelland, 1998). Hoge lactaatniveaus in het bloed en de actieve spieren leiden uiteindelijk tot een verhoogde aanwezigheid van waterstofatomen. Die

waterstofatomen zijn van invloed op de subjectieve ervaring van de inspanning van de sporter. Naarmate de hoeveelheid waterstof toeneemt, wordt ook de ervaren pijn bij de sporter steeds meer en houdt de sporter de inspanning minder lang vol (Hollander, 2003).

Bij een onderzoek waarbij zowel de hartslag als het lactaatgehalte in het bloed werden gemeten, zag men duidelijk terug dat de sterk verhoogde hartslag en toenemende lactaatgehaltenes, en als gevolg hiervan een toenemende hoeveelheid waterstofatomen, van grote invloed waren op de toenemende ervaren pijn en het verminderen van het plezier in de inspanning (Borg, 1985).

Methode

onderzoekspopulatie

De onderzoekspopulatie bestond uit 14 mannen in de leeftijdscategorie 18-35 jaar. Van deze 14 mannen hebben 9 mannen ook protocol D meegefietst. De overige 5 proefpersonen konden door verschillende omstandigheden niet mee fietsen in protocol D. De proefpersonen hebben een selectieprocedure ondergaan waarbij er werd gekeken naar de fitheid en de medische achtergrond van de mannen. Uit veiligheidsoverwegingen en voor het in kaart brengen van de fysieke getraindheid zijn de mannen voor hun deelname aan het onderzoek, door een sportarts onderzocht. Hierbij werd er een interview gehouden over de leefstijl en voedingsgewoontes van de sporters, en werd de medische achtergrond van henzelf en hun familie besproken. Daarna werd zowel lengte als gewicht gemeten, en werd het bloed getest op bloedsuikerniveau, en werd de urine getest op glucosurie, oftewel de aanwezigheid van glucose in de urine. Alle mannen waren goed getraind, gebaseerd op de maximale inspanningstest op een fiets, waarbij zij minimaal 400 Watt per kilo

lichaamsgewicht moesten wegtrappen tijdens de sportmedische keuring.

De cardio-respiratoire fitheid werd in kaart gebracht door het meten van de maximale hartslag en een elektrocardiogram terwijl zij op hun maximale zuurstofopname presteerden tijdens condities op zeeniveau. Hierbij werd ook gekeken naar de longventilatie, rusthartslag en weggetrapte weerstand. De gegevens van het sportmedisch onderzoek werd naar iedere deelnemer toegestuurd per mail zodat zij inzicht kregen in hun fysieke gesteldheid en eventuele bijzonderheden. Indien de sporter niet voldeed aan de criteria om mee te doen werd hij via deze mail op de hoogte gesteld van de reden waarom.

Men werd volgens onderstaande criteria ingesloten dan wel uitgesloten van het onderzoek:

inclusiecriteria	Exclusiecriteria:
Minstens 6 keer per week aeroob trainen met een minimale duur van 1 uur	Levert minder dan 400 Watt per kilo tijdens het onderzoek
Leeftijd tussen de 18 en 35 jaar	Elektronische medische hulpmiddelen aanwezig zijn, bijvoorbeeld een pacemaker
Een Bodymassindex (BMI) tussen de 18,5 en 25	Verstoppingen, bloed in de ontlasting, diarree of operaties aan het maag-darmstelsel heeft ondergaan in de afgelopen twee maanden
	Bloedarmoede, een verstoorde bloedsuikerbalans of bloeddonaatie in de afgelopen twee maanden

	maanden
	Geen gewichtsverschil van twee kilo of meer in de afgelopen twee maanden
	Geen bijzonderheden in de longfunctie, hartfunctie en hartritme

Meetinstrumenten

Tijdens de test werden proefpersonen op de ergometer gemeten aan de hand van indirecte calorimetrie. Hierbij werd door middel van een ventilatiekap een meting gedaan van de ingeademde lucht en uitgedemde lucht bij de proefpersonen. Deze had een inhoud van tien liter en er werd 500 liter lucht per minuut geventileerd. In de ventilatiekap werd gemeten hoeveel zuurstof en koolstofdioxide er in de aangevoerde en afgevoerde lucht zat. Elke twintig seconden nam de gasanalyse (Servomex 4100, Servomex) een proef ter grootte van 200 ml. Op basis van het verschil tussen aangevoerde lucht en afgevoerde lucht werd geanalyseerd hoeveel koolstofdioxide en zuurstof de persoon had in- en uitgedemd. Door de koolstofdioxide te delen door de hoeveelheid zuurstof die de persoon had verbruikt werd het respiratoire quotiënt gemeten, ofwel RQ.

Op basis van deze RQ waarde kon worden bepaald welk substraat met name werd gebruikt door de proefpersoon om de energie voor de inspanning te leveren. Hierbij is vastgesteld dat bij een RQ van 0,7 men voornamelijk vetzuren gebruikt als brandstof. Een RQ van 1.00 staat voor het gebruik van koolhydraten als de meest gebruikte brandstof. De efficiëntie van de aerobe capaciteiten van de proefpersoon werd gemeten aan de hand van zuurstofgebruik

gedeeld door geleverde wattage. Hoe lager de hoeveelheid zuurstof ten opzichte van de geleverde wattage, hoe efficiënter de sporter.

De apparatuur is voor de test geijkt, waardoor vastgesteld werd wat de vaste afwijking in de metingen zijn. De ventilatiekap meet ook zonder ademhaling een verschil tussen de in- en uitgaande gassen. Het is van belang om deze basisafwijking te verrekenen met de gevonden resultaten bij de proefpersonen.

De Rating of Perceived Exertion (RPE), werd gebruikt om na iedere vijf minuten de subjectieve ervaring van de proefpersoon in kaart te brengen. De RPE, ook bekend als de Borgschaal, is in de jaren 70 ontwikkeld om de intensiteit van inspanning te meten aan de hand van een score tussen 6 en de 20. Hierbij betekent een score van 6 geen intensiteit, oplopend tot de 20 waarin de inspanning als maximaal wordt beschouwd (Borg, 1970).

Procedure

Dit onderzoek is een gerandomiseerde controlled single blind crossover studie.

De proefpersonen werden op specifieke dagen en tijden uitgenodigd bij het onderzoekscentrum Seneca aan de Hogeschool Arnhem & Nijmegen. De testen werden vroeg op de dag, om zeven uur of om negen uur gehouden, waarbij de sporters altijd op dezelfde tijd werden ingedeeld, en de sporters werd gevraagd om de dag voorafgaand aan het onderzoek vanaf acht uur 's avonds in nuchtere toestand te verkeren, en zij alleen nog water en thee of koffie zonder suiker en melk mochten drinken, en waarbij er vanaf tien uur alleen water mocht worden gedronken. Er waren drie verschillende protocollen waarin de proefpersonen werden getest over een periode van drie weken in willekeurige volgorde, namelijk:

Protocol A: Zeeniveau, waarbij de lucht 21% zuurstof bevatte, en zij 350 ml water kregen, 15 minuten voor de inspanning.

Protocol B: Hypoxie, waarbij de lucht 16% zuurstof bevatte om een hoogte van 2500 meter na te bootsen, en zij kregen 350 ml water, 15 minuten voor de inspanning.

Protocol C: Hypoxie, waarbij de lucht 16% zuurstof bevatte om een hoogte van 2500 meter na te bootsen, en zij kregen 350 ml water met 7% glucoseoplossing, 15 minuten voor de inspanning.

In een later stadium van het onderzoek is ook protocol D toegevoegd aan het experiment. Van de 14 proefpersonen die participeerden in protocol A tot en met C hebben 9 proefpersonen ook geparticipeerd in protocol D:

Protocol D: Hypoxie, waarbij de lucht 16% zuurstof bevatte om een hoogte van 2500 meter na te bootsen, en zij kregen 350 ml water met 14% glucoseoplossing, 15 minuten voor inspanning.

De protocollen werden getest in de hoogtekamer van Seneca. In deze hoogtekamer kon men het zuurstofgehalte in de lucht aanpassen door het te vervangen met stikstof. De hoeveelheid zuurstof in de lucht bij dit onderzoek is van 159 mm Hg op zeeniveau (oftewel 20,9% zuurstof op 760 mm Hg) teruggebracht door het verwijderen van zuurstof naar 122 mm Hg (oftewel 16% zuurstof op 760 mm Hg). Deze aanpassing bootst de omstandigheden van de lucht op 2500 meter hoogte na. De temperatuur werd constant op 16 graden Celsius gehouden door middel van een airconditioningsysteem. Het zuurstofgehalte in de vers aangevoerde lucht schommelde soms kort, maar lag altijd tussen de 15,5% en 16,5%.

De gebruikte glucosedrank in protocol C en D was van het merk Powerbar (Powerbar isoactieve Isotonic Sports Drink©) met een

vaste concentratie van 28 gram poeder per 350 ml, oftewel een isotone 7% glucoseoplossing in protocol C. Voor protocol D is een hogere concentratie glucose genomen, namelijk een hypertone concentratie van 14% op 350ml water.

Een kwartier na volledig inname van de drank, zowel bij inname van koolhydraten als van alleen water, begonnen de proefpersonen aan hun inspanning. Het kwartier tussen inname van de drank en de uitvoering van de test werd gebruikt om de proefpersoon zo goed mogelijk te informeren over de omstandigheden, testmethodes, de procedure en natuurlijk de veiligheidsprocedures die de gezondheid van de deelnemers moet waarborgen.

De proefpersonen namen allemaal deel aan hetzelfde onderzoek op dezelfde locatie. Zij zaten dus allemaal op dezelfde fietsergometer. Hierbij kan men exact zien hoeveel weerstand in wattage de persoon wegtrapt en deze handmatig verhogen. De fietsergometer werd afgesteld op de persoonlijke lengte en comfort van de proefpersonen. Tien minuten voor zij aan hun test begonnen, werden zij al op deze fietsergometer geplaatst om warm te fietsen. Deze tijd werd ook gebruikt om bij protocol C en D de koolhydraten de kans te geven om door het lichaam te worden opgenomen, en tegelijkertijd bij alle protocollen om de procedure en gang van zaken uit te leggen. Het is van belang dat protocol A en B hier niet van afwijken en proefpersonen dezelfde procedure doorlopen.

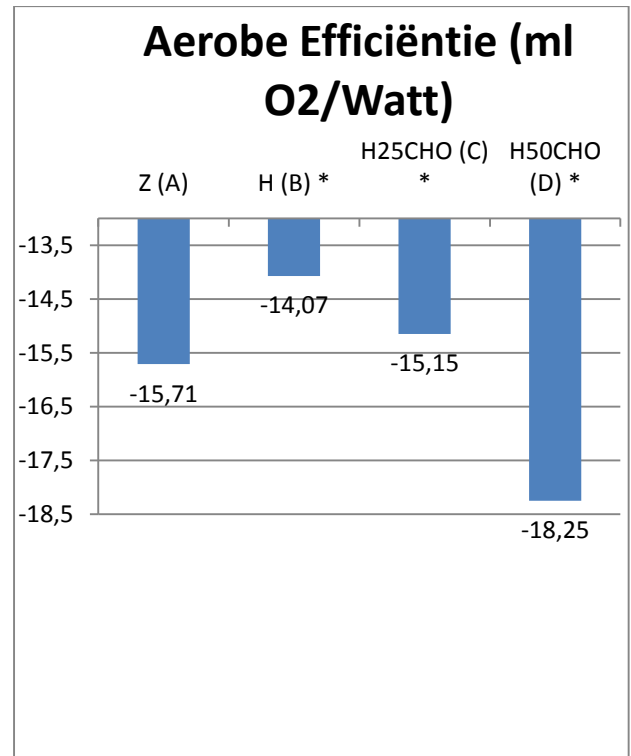
Bij start van het onderzoek begon de proefpersoon met het wegtrappen van 100 Watt. De weerstand werd stapsgewijs om de vijf minuten verhoogd met 25 watt, waardoor het lichaam steeds aanpassingen doet om het verhoogde vermogen te kunnen leveren. Om deze reden zijn alleen de laatste drie minuten van de vijf minuten gebruikt in de analyse en

meegenomen in de resultaten. Aan het einde van iedere verhoging werden de hartslag, zuurstofsaturatie en RPE gemeten. Hartslag werd, net als de zuurstofsaturatie, gemeten met een pulse-oximeter. Wanneer de onderzoekers vaststelden dat de hartslag van de proefpersoon over de 90% van de maximale hartslag kwam, de zuurstofsaturatie daalde tot 87,5%, of wanneer de proefpersoon zelf aangaf te willen stoppen, werd de test gestopt. Wanneer de proefpersoon dit zelf aangaf werd de proefpersoon uit de test gehaald, omdat de resultaten niet tot de maximale waarden liepen.

Data analyse

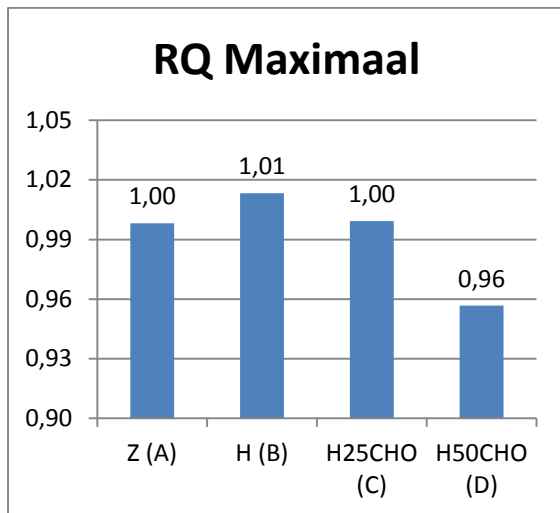
De data werd geanalyseerd door middel van SPSS. Om te kijken of er significante waarden uit de statistische analyse komen werd gebruik worden gemaakt van een gepaarde T-toets en de Wilcoxon-toets. De gepaarde T-toets werd gebruikt wanneer er sprake was van een normale verdeling, de Wilcoxon toets wanneer data niet normaal verdeeld was. De normale verdeling werd in kaart gebracht aan de hand van Kurtosis en Skewness. Zolang deze tussen de -1 en 1 zaten werd de data als normaal verdeeld beschouwd. Wanneer de P-waarde kleiner werd bevonden dan 0,05, dan spreekt men over een significant verschil.

Resultaten



Figuur 1: gemiddelde aerobe efficiëntie tijdens de maximale intensiteitstap over de vier protocollen. Significante waarden zijn voorzien van een *.

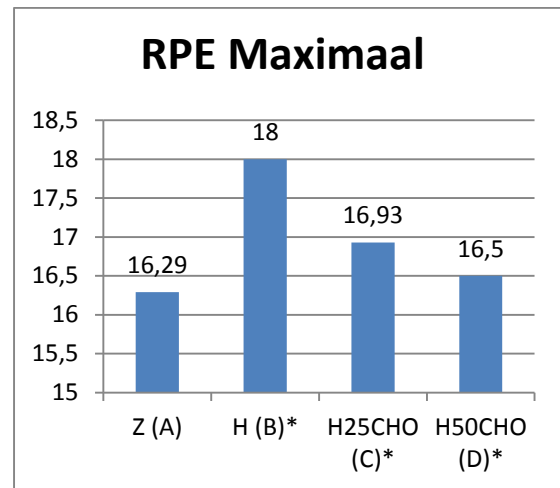
Er werd gekeken naar de aerobe efficiëntie door de hoeveelheid gebruikte zuurstof te delen door de weggetrapte wattage bij de laatste stap van de maximale inspanning. Hoe meer zuurstof er nodig is per watt, hoe lager de aerobe efficiëntie. De gemiddelden per protocol staan weergegeven in figuur 1. Hierbij kwam naar voren dat de deelnemers bij protocol A gemiddeld 15,71ml zuurstof per watt gebruikte. Bij protocol B was dit 14,07ml. Dit is geen significant verschil ten opzichte van protocol B ($P=0,230$). De aerobe efficiëntie was bij protocol C 15,15ml, en ligt significant lager dan bij protocol B ($P=0,047$). In protocol D lag de gemiddelde efficiëntie op 18,25, welke significant lager lag dan bij B ($p=0,008$). D was ook significant minder efficiënt dan protocol C ($p=0,018$).



Figuur 2: Gemiddelde RQ tijdens de maximale inspanningsstap bij alle vier de protocollen. Significante waarden zijn, indien aanwezig, voorzien van een *.

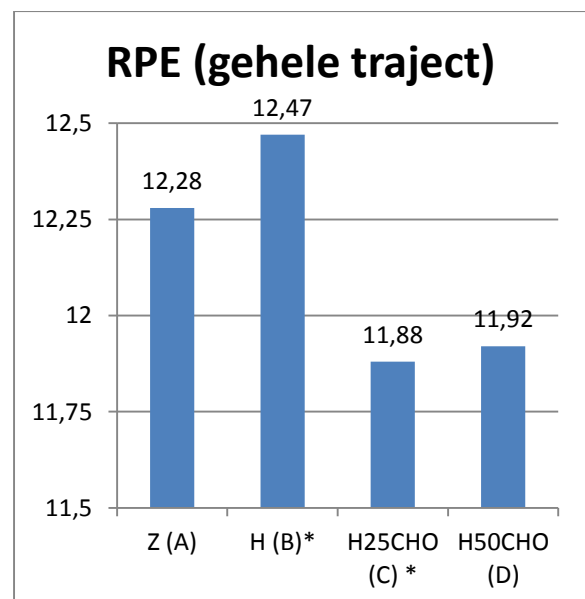
De gemiddelde RQ van de vier protocollen is schematisch weergegeven in figuur 2. De RQ lag tijdens de maximale inspanningsstap bij protocol A op 1,00. Bij protocol B was dit 1,01 gemiddeld, en was niet significant hoger dan bij protocol A ($P=0,556$). Bij protocol C werd gemiddeld een RQ van 1,00 gemeten. Dit is geen significant verschil ten opzichte van protocol B ($P=0,160$). Tussen protocol B en D werden geen significante verschillen gevonden ($p=0,092$), hoewel zij wel een trend aangeeft ($P<0,1$). Tussen protocol C en D werd geen significant verschil gevonden ($p=0,916$).

Ook werd er gekeken naar de RPE over zowel de laatste maximale stap die de proefpersoon in alle protocollen heeft gefietst (RPE maximaal) en over het gehele traject (RPE gehele traject). Bij 'maximaal RPE' betekent het dat de gemiddelden van de slechtste stap uit de vier protocollen met elkaar zijn vergeleken, terwijl bij 'RPE gehele traject' de RPE vanaf de eerste tot de maximale stap met elkaar werden vergeleken.



Figuur 3: Gemiddelde RPE tijdens de laatste stap in de vier protocollen. Significante waarden zijn voorzien van een *.

De gemiddeldes bij de maximale RPE zijn schematisch weergegeven in figuur 3. Bij protocol A kwam naar voren dat de proefpersonen gemiddeld een 16,29 scoorden. Bij protocol B was de RPE significant hoger in vergelijking met zeeniveau ($P=0,001$). In protocol C lag de RPE significant lager dan bij protocol B ($P=0,013$). Bij protocol D lag de RPE niet significant lager dan bij protocol B ($P=0,107$), maar laat met $P=0,107$ wel een trend zien ($p<0,1$). Tussen protocol C en D werd onderling geen significant verschil gevonden ($P=0,391$).



Figuur 4: gemiddelde RPE over het gehele traject van de vier protocollen. Significante waarden zijn voorzien van een *.

De gemiddeldes van de vier protocollen over het gehele traject staan schematisch weergegeven in figuur 4. Over het hele traject scoorden de proefpersonen 12,28 op de RPE bij protocol A. Bij protocol B lag de RPE significant hoger in vergelijking met protocol A ($P=0,00$). Bij protocol C lag de RPE significant lager dan bij protocol B ($P=0,00$). Protocol D vertoonde geen significante verschillen ten opzichte van protocol B ($P=0,084$), maar vertoont echter wel een trend ($p<0,1$). Tussen protocol C en D werden geen significante verschillen gevonden ($P=0,110$).

Conclusie

De gevonden resultaten in het onderzoek zouden mogelijk een bevestiging kunnen zijn dat de huidige richtlijnen die worden gehanteerd op hoogte, voldoende aansluiten bij de behoefte van aerobe duursporters. Het lijkt er op dat op basis van dit onderzoek geen nieuwe richtlijnen tot stand zijn gekomen.

Uit het onderzoek lijkt naar voren te komen dat koolhydraatsuppletie geen positief effect heeft op de aerobe efficiëntie van de proefpersonen. De aerobe efficiëntie lijkt significant lager te liggen bij koolhydraatsuppletie. Het lijkt er sterk op dat hoogte van invloed is op de maximale aerobe prestatie, wat het gevolg zou kunnen zijn van een verminderde $VO_2\max$. De proefpersonen vertoonden in zuurstofarme omstandigheden bij dezelfde weerstand een gelijkwaardige RQ, behalve bij protocol D. Het lijkt er op dat de proefpersonen bij D minder vaak in de anaerobe zone fietsten op het moment van maximale inspanning, aangezien men vanaf een RQ van 1 pas spreekt van anaerobe zone.

Koolhydraatsuppletie direct voor de inspanning leek een verbeterd effect op de RPE van de proefpersonen te hebben. De suppletie van koolhydraten leidde in zowel protocol C met 25 gram, als in protocol D met 50 gram tot een significant lagere RPE in

vergelijking met zowel protocol A op zeeniveau als protocol B op hoogte zonder koolhydraten. De RQ bleek bij koolhydraatsuppletie lager te zijn, met name bij een hogere inname in protocol D, waardoor koolhydraatsuppletie mogelijk de anaerobe zone van de inspanning kan uitstellen, en daarmee de algehele prestatie op 2500 meter hoogte zou kunnen verbeteren.

Discussie

Theoretische relevantie

Uit de resultaten kwam naar voren dat er een significant verschil in de hoogte van de RPE is, wanneer er sprake is van koolhydraatsuppletie direct voor de aerobe inspanning in vergelijking tot zowel zeeniveau als op hoogte zonder koolhydraatsuppletie. Er is echter geen verschil in aerobe prestatie in de vorm van weggetrapte wattage op hoogte door koolhydraatsuppletie. Ook in andere gemeten variabelen zoals zuurstofverzadiging en hartslag zijn geen significante verschillen gevonden. Dit zou verklaren kunnen worden door het psychologische effect van koolhydraatsuppletie van de aerobe sporter, waarbij de smaak van koolhydraten het prestatievermogen bij sporters verbetert (Pottier, 2010).

De proefpersonen presteerden minder goed op hoogte tijdens maximale inspanning in vergelijking met zeeniveau. Dit komt overeen met de effecten van hoogte zoals deze in de literatuur zijn beschreven. Uit onderzoek bleek al dat de rusthartslag hoger ligt op hoogte (Pugh 1964), waardoor de proefpersonen sneller op 90% van hun maximale hartslag presteren en hierdoor moesten stoppen.

Daarnaast is er bij protocol D sprake van een hypertone drank met 50 gram koolhydraten. Het is per individu verschillend hoe snel maaglediging is en hoe goed het maag-darmstelsel in staat is om de koolhydraten op te nemen. Naast de erfelijke aanleg speelt ook de getraindheid een rol in de opname van de koolhydraten uit de drank. Het is mogelijk dat 50 gram koolhydraten voor een gedeelte van de onderzoekspopulatie heeft geleid tot maagdarmproblemen waardoor zij mogelijk niet maximaal konden presteren (Burke, 2007).

Praktische relevantie

De resultaten van dit onderzoek lijken aan te geven dat de huidige richtlijnen niet gewijzigd zouden hoeven worden.

Momenteel wordt reeds aanbevolen om een kwartier voor inspanning een isotone sportdrank te nemen. Dit heeft volgens de resultaten van dit onderzoek een positief effect op de RPE van de proefpersonen. Dit is mogelijk het gevolg van het psychologische effect van de sportdrank, waardoor sporters op hoog niveau mogelijk net wat extra motivatie of fitheid kunnen behouden. Hierbij zijn de richtlijnen zoals deze nu worden gehandhaafd al toereikend.

Het lijkt er echter niet op dat de richtlijnen voor koolhydraatopname verhoogd hoeven worden. De proefpersonen zijn niet efficiënter gaan fietsen. De proefpersonen leken volgens de resultaten zelfs minder efficiënt te worden naarmate de koolhydraatsuppletie verhoogd werd.

Begrenzing van het onderzoek

De apparatuur die gebruikt werd voor de indirecte calorimetrie, is van invloed geweest op de resultaten. Naarmate er steeds meer proefpersonen deelnamen aan het onderzoek, raakten de verschillende filters steeds meer

verstopt waardoor bij enkele deelnemers gegevens misten of deelnemers weggelaten werden vanwege onsecure metingen.

Daarnaast werd van de deelnemers verwacht dat zij na acht uur 's avonds geen maaltijd meer zouden nuttigen, en na tien uur 's avonds alleen nog thee of water zouden drinken om in een nuchtere toestand deel te nemen aan het onderzoek de ochtend daarna. Sommige deelnemers fietsten om 7 uur 's ochtends, andere deelnemers begonnen om 9 uur. Deelnemers hebben dus 11 tot 13 uur lang geen voeding binnen gekregen. In de praktijk eten duuratleten een of meerdere maaltijden voor zij aan een inspanningssessie beginnen, zodat zij voorzien zijn van voldoende brandstof en reserves (Burke, 2007). Hierdoor bestaat er de mogelijkheid dat de gevonden verschillen en effecten in dit onderzoek groter zijn dan ze in de praktijk zouden blijken.

De proefpersonen hebben allen een andere aerobe conditie en getraindheid. Hierdoor reageren sommige proefpersonen sterker op bepaalde variabelen zoals bijvoorbeeld hoogte of koolhydraatsuppletie dan andere proefpersonen. Hierdoor werd het moeilijker om eenduidige gegevens te verzamelen, omdat sommige deelnemers bij het ene protocol wel beter presteerden, terwijl hetzelfde protocol bij andere proefpersonen juist een negatief effect had op de inspanning. Met name bij protocol D was het verschil tussen de proefpersonen onderling erg groot. Dit kan met meerdere factoren te maken hebben.

Allereerst werd protocol D pas later in het onderzoek meegenomen, waardoor een gedeelte van de proefpersonen tot wel vijf maanden tijd hebben gehad om zowel hun conditie te verbeteren, dan wel achteruit te laten gaan door verminderde trainingsfrequentie. Voorafgaand aan protocol D hebben de proefpersonen wel een test

ondergaan, maar hierbij is alleen gekeken of zij nog steeds voldeden aan de exclusiecriteria. Dit zou onder andere kunnen betekenen dat zij bij een betere conditie de hartslag langer onder de 90% van hun maximale hartfrequentie kunnen houden, en hierdoor langer op de fiets kunnen blijven zitten. Door juist een verminderde conditie zou de hartslag sneller deze 90% van de maximale hartfrequentie bereiken, wat zou betekenen dat zij sneller de grens bereikt hebben waarbij hun inspanningssessie wordt gestopt en hierdoor mogelijk verminderd presteren in de maximaal weggetrapte wattage.

Als laatste is er mogelijk sprake van een bias in protocol D omdat slechts 9 van de 14 proefpersonen die protocol A tot en met C hebben gefietst, ook protocol D hebben gefietst. Het zou mogelijk zijn dat deze 9 proefpersonen gemiddeld een betere conditie hebben gehad dan de proefpersonen die niet participeerden in protocol D. Het is mogelijk dat de gegevens hierdoor minder goed te generaliseren zijn voor de hele onderzoekspopulatie.

Suggesties vervolgonderzoek

Het zou voor onderzoekers interessant kunnen zijn om vervolgonderzoek te doen naar de gevonden effecten van koolhydraatsuppletie bij aerobe inspanning op gemiddelde hoogte. Hierbij zou men kunnen onderzoeken of atleten beter presteren wanneer zij in de laatste fase van de inspanning geen 25 watt extra belasting erbij krijgen maar bijvoorbeeld slechts 10 watt. In de topsport kunnen kleine verschillen betekenen dat een atleet wint of verliest. Die kleine verbeteringen komen mogelijk in deze onderzoeksopzet niet of te weinig naar voren.

De verbetering van de RPE is een mogelijk gevolg van de psychologische effecten van

koolhydraatsuppletie. De deelnemers proeven de zoete smaak van het drankje, en weten hierdoor dat zij in plaats van water een sportdrankje consumeren. Dit effect zou in de toekomst kunnen worden onderzocht door in plaats van water een koolhydraatvrije drank met bijvoorbeeld aspartaam te suppleren.

Hierdoor zou men kunnen meten in welke mate de zoete smaak van het drankje van invloed was op de subjectieve ervaring van de proefpersonen op de inspanning die zij zouden gaan leveren. Het is voor dit onderzoek niet van belang om de oorsprong van deze verbetering op te sporen, aangezien prestatieverbetering het doel is, of deze nu van metabolische of psychische aard is.

Aanbevelingen

De eerste aanbeveling die volgt uit het onderzoek is dat de resultaten lijken te impliceren dat de huidige richtlijnen die worden gehanteerd voor duurinspanningen op hoogte toereikend zijn voor de behoefte van de atleet. De resultaten van dit onderzoek en de interpretatie van de gegevens op basis van de literatuur, geven aanleiding tot het doen van een aantal praktische aanbevelingen. Deze aanbevelingen zijn praktisch bruikbaar wanneer atleten aerobe prestaties moeten leveren onder de omstandigheden van acute blootstelling aan een gemiddelde hoogte van ongeveer 2500 meter hoogte.

Uit het onderzoek komt naar voren dat koolhydraatsuppletie binnen 15 minuten voor de aerobe inspanning geen positief effect heeft op het prestatievermogen van de atleet. Dit geldt zowel voor het suppleren van 25 gram koolhydraten als voor het suppleren van 50 gram. De aerobe efficiëntie lijkt achteruit te gaan naar mate de gesuppleerde hoeveelheid koolhydraten omhoog gaat en de genomen drank hypertoon wordt.

Koolhydraatsuppletie gaf echter wel een positief effect op de ervaren inspanning van de atleet. Dit laatste zou kunnen leiden tot verbeterde prestatie van de atleet.

Het is aan te bevelen om 5-10 ml water per kilo lichaamsgewicht te drinken tot een kwartier voor inspanning, voorzien van 6-8 gram koolhydraten per 100ml om de drank isotoon te houden. Deze aanbeveling geldt wanneer het een aerobe duurinspanning op gemiddelde hoogte betreft, die door de atleet minimaal 30 minuten volgehouden dient te worden.(Burke, 2007).

Er zijn verschillende toepassingen voor deze richtlijn. Allereerst kan dit tijdens sportevenementen en wedstrijden gebruikt worden wanneer deze compleet of voor een gedeelte plaatsvindt op gemiddelde hoogte, bij aerobe inspanning. Hierdoor kunnen de atleten beter presteren, waardoor huidige records kunnen worden verbeterd en de subjectieve ervaring van een deelnemer tijdens de inspanning vooruit gaat. In het verlengde hiervan kunnen organisatoren van dit soort evenementen de kwaliteit van het evenement vooruit laten gaan en de prestaties van deelnemers verbeteren door deze richtlijn mee te geven.

Het kan ook voor supplementenlijnen interessant zijn om hun producten aan te passen op deze richtlijn. Een goede marketing zou er voor kunnen zorgen dat zij supplementen kunnen aanbieden aan atleten die trainen of moeten presteren onder acute blootstelling aan gemiddelde hoogte.

Sportdiëtisten kunnen deze kennis toepassen wanneer zij atleten begeleiden die trainen of moeten presteren op gemiddelde hoogte. Hierdoor kan men het voedingsadvies beter afstemmen op de behoefte van de atleet, waardoor deze beter kan presteren tijdens de training of wedstrijd.

Atleten die trainen met apparatuur om hoogte te simuleren kunnen deze richtlijn gebruiken om tot betere trainingsprestaties te komen en hierdoor een hoger fitheidniveau tot stand te brengen.

Bronnenlijst

- Aaron, E. (1992). Oxygen cost of exercise hypernea: implications for performance. *Journal of Applied Sciences*, 1818-1825.
- Askew, E. (1995). Environmental and physical stress and nutrient requirements. *American Journal of Clinical Nutrition*, 61-65.
- Askew, E. (1996). Cold weather and high altitude nutrition: overview of the issues. *American Journal of Applied Sciences*, 83-93.
- Askew, E. (1997). Nutrition and performance in hot, cold and high altitude environments. *Nutrition in exercise and sport*, 597-619.
- Bastiens, N. (2010). Hoogtetra training onder de loep. *Versus*, 55-58.
- Beidleman, B. (2002). Substrate oxidation is altered in women during exercise upon acute altitude exposure. *Pubmed Europe central*, 430-437.
- Borg, G. (1985). The increase of perceived exertion, aches and pain in the legs, heart rate and blood lactate during exercise on a bicycle ergometer. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 343-349.
- Brooks, G. A., & Mercier, J. (1994). *Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept*. University of California, Berkeley: Exercise Physiology Laboratory, Department of Human Biodynamics.
- Burke, L. (2007). *Practical Sports Nutrition*. Belconnen, Australië: Human Kinetics.
- Burke, L. (2010). *Clinical Sports Nutrition*. Melbourne: The McGraw-Hill companies.
- Butterfield, G. (1992). Increased energy intake minimizes weight loss in men at high altitude. *Journal of Applied Physiology*, 72-77.
- Butterfield, G. (1996). Maintenance of body weight at altitude: in search of 500 Kcal/day. *National academy press*, 357.
- Coyle, E. (1985). Substrate usage during prolonged exercise following a pre-exercise meal. *Journal of Applied Physiology*, 429-433.
- Hollander, D. (2003). RPE, pain and physiological adjustment to concentric and eccentric contractions. *Europe Pubmed central*, 1017-1025.
- Jeukendrup, A. (2010). *Sport Nutrition: an introduction to energy production and performance*. Birmingham: Human Kinetics.
- Kayser, B. (1994). Nutrition and Energetics of Exercise at Altitude. *Sports Medicine*, 309-323.
- McArdle, W. (2010). *Exercise Physiology*. Philadelphia: Wolters Kluwers.
- McCelland, G. (1998). Carbohydrate utilization during exercise after high altitude acclimation: a new perspective. *National academy sciences*, 102-106.

- Nijmegen, H. A. (2014, maart 21). <http://www.han.nl/opleidingen/bachelor/sport-gezondheid-management/vt/opleiding/>. Opgehaald van Han.nl.
- Pottier, A., Bouckaert, J., Gillis, W., Roels, T., & Derave, W. (2010). Mouth rinse but not ingestion of a carbohydrate solution improves 1-h cycle time trial performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 105-111.
- Pugh, L. (1964). Muscular exercise at great altitudes. *Journal of Applied Sciences*, 431-440.
- Squires, R. (1982). Aerobic capacity during acute exposure to simulated altitude, 914 to 2286 meters. *Europe Pubmed central*, 31-40.
- Thomas, D. (1991). Carbohydrate Feeding before Exercise: Effect of Glycemic Index. *Thieme international journal of sports medicine*, 180-186.
- Voeding, K. S. (2014, maart 21). <http://blog.han.nl/hansportnutrition/over-het-kennisteam/>. Opgehaald van blog.han.nl/hansportnutrition.