



UNIVERSITEIT UTRECHT

BIOMEDISCHE WETENSCHAPPEN

Het winnen van de marathon: de rol van genen en omgeving

Bachelorscriptie

Gilissen, M.G.R.

studentnummer: 3517160

2012

Begeleider:

Dhr. D.J. Boerwinkel

Didactiek voor de biologie

Universiteit Utrecht

Samenvatting

In het huidige genetica-onderwijs wordt meer aandacht besteed aan verschijnselen die door zowel genetische- als door omgevingsfactoren worden veroorzaakt. In deze scriptie wordt het portret geschetst van een hardloper die als eerste over de finish van de marathon komt. De genetische- en omgevingsfactoren die een rol spelen bij dit verschijnsel komen uitgebreid aan de orde in de literatuurstudie. In het onderzoeksdeel is een model gemaakt van alle factoren. Dit model kan uiteindelijk worden gebruikt door docenten in het genetica-onderwijs. Bij zowel het literatuurdeel als het onderzoeksdeel zijn deskundigen benaderd. Deze scriptie heeft zich toegespitst op vier verschillende onderwerpen: energiehuishouding, zuurstoftransport, spieren en doorzettingsvermogen.

Wat betreft energiehuishouding is vooral goede voeding belangrijk. Een gen wat gecorreleerd is met energiehuishouding is het PPAR δ -gen. Daarnaast is gebleken dat hoogtestage een positieve invloed kan hebben op de activiteit van metabole enzymen en zorgt het voor een verbeterde lactaat afbraak. Hierdoor treedt er minder snel spiervermoeidheid op bij een atleet.

Zuurstof is nodig voor een goede afbraak van glucose zodat er niet teveel lactaat wordt geproduceerd. Zowel erythrocyten en hemoglobine hebben een functie in het transport van zuurstof. Beide worden gesynthetiseerd door het EPO-gen. Hoogtestage of een mutatie in het EPO-gen leidt tot verhoging van de hematocrietwaarde met als gevolg een betere prestatie op de lange duur.

Spieren zijn opgebouwd uit verschillende typen spiervezels. De aanwezigheid van de varianten van het ACTN3-gen bepalen de verhouding van de type spiervezels. Type I spiervezels zijn de vezels die verantwoordelijk zijn voor de aerobe- en type II voor de anaerobe inspanningen. De manier van lopen bepaalt het zuurstof en energieverbruik, loopeconomie genoemd. Een kortere hiellengte en een lange en dunne achillespees zijn gecorreleerd met een efficiëntere loopeconomie. Lichaamsbouw is genetisch bepaald, maar de houding tijdens het lopen is te trainen. Myostatine is een groeifactor die een remmend effect heeft op de spierontwikkeling. Een mutatie in het MSTN-gen kan voor enorme spiergroei zorgen.

Doorzettingsvermogen is een belangrijke eigenschap bij het lopen van een marathon. Bij vrouwen zijn er polymorfismen in drie genen gevonden die invloed hebben op het sportgedrag. Het CYP19-gen, calciumreceptor-gen en het DRD2-gen. Voor beide seksen geldt dat polymorfismen van het MC4R-gen en het ACE-gen van invloed zijn op het sportgedrag. Hoe ver een atleet in de top komt hangt onder andere af van omgevingsfactoren zoals support van de omgeving, training op doorzettingsvermogen, emotionele staat, drijfveer en ervaring. Op chromosoom 3 en 4 zijn genen gevonden die mogelijk een verband hebben met het wel of niet behalen van de top. In deze regio's liggen twee genen die eerder ook aan sportfenotypes gekoppeld zijn: UCP1 en FABP2. Het FABP2 gen is betrokken bij metabole processen. Daarnaast is er ook een associatie gevonden met een variant van het DREAM-gen. Deze genvariant wordt geassocieerd met een verbeterde regulering van pijn tolerantie.

Het is lastig om een percentage te noemen van de rol van genetische factoren en van omgevingsfactoren aangezien beide een belangrijke rol spelen. Bij de Finse langlaufer was het succes vooral te danken aan een mutatie in het EPOR-gen. Daarentegen zijn er ook topatleten waarvan bekend is dat zij maar weinig goede genvarianten hebben, wat zou kunnen suggereren dat vooral omgevingsfactoren een cruciale rol spelen bij het behalen van de top.

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
Inleiding	4
1. De energiehuishouding	5
1.1 ATP-CP-systeem	6
1.2 Anaerobe glycolyse of melkzuursysteem	6
1.3 Aerobe energiesystemen	7
1.3.1 Aerobe glycolyse	7
1.3.2 Krebscyclus	7
1.3.3 Elektronentransportsysteem (ETS)	8
1.4 Vetmetabolisme	8
1.5 ATP opbrengst	9
2. De energiehuishouding bij een marathonloper	10
2.1 Voeding van een atleet	10
2.1.1 Aantal dagen voor de marathon	10
2.1.2 De dag van de marathon	11
2.1.3 Tijdens de marathon	11
2.1.4 Na de marathon	12
2.2 Hoogtestage	12
2.2.1 Malaat dehydrogenase	13
2.2.2 Lactaat-systeem	13
2.3 Genen die mogelijk een rol spelen in aerobe energiesystemen	14
2.3.1 PPAR δ -gen	14
2.3.2 CKMM-gen	15
2.4 Overzicht energiesystemen marathonloper	15
3. Zuurstof transport	16
3.1 Myoglobine	18
3.2 Hemoglobine	18
4. Zuurstoftransport bij een marathonloper	19
4.1 MB-gen	19
4.2 Hematocrietwaarde	19
4.2.1 EPO-gen	19
4.2.2 Hoogtestage/druktent	20
4.3 Bloedvaten	22
4.4 Overzicht zuurstoftransport marathonloper	22
5. Spieren	23
5.1 Bouw van de spieren	23
5.2 Doorbloeding spieren	24
5.3 Typen spiervezels	24
6. Spieren marathonloper	27
6.1 Verhouding spiervezels	27
6.1.1 Gen varianten	27

6.1.2	Relatie spiervezels en VO ₂ max.....	28
6.1.3	Sporttesten.....	30
6.2	Krachtige spieren.....	30
6.2.1	Myostatine.....	30
6.2.2	Groeihormonen.....	31
6.3	Kuiten	32
6.3.1	Volume kuit	32
6.3.2	Hiellengte	33
6.3.3	Achillespees.....	34
6.3.4	Houding.....	34
6.4	Geboren met lopen.....	35
6.5	ACE-gen.....	35
6.6	Overzicht spieren marathonloper	36
7.	Doorzettingsvermogen bij een marathonloper.....	37
7.1	Genetische aanleg.....	37
7.1.1	Tweelingstudie mentale weerbaarheid.....	37
7.1.2	Sportgedrag.....	38
7.2	Omgevingsfactoren.....	39
7.2.1	Succes van de Kenianen.....	40
7.2.2	Pijn tolerantie	42
7.2.3	Sportpsycholoog en mentale coaching.....	42
7.3	Overzicht doorzettingsvermogen	43
8.	Discussie.....	45
8.1	Literatuuronderzoek.....	45
8.2	Onderzoeksdeel.....	46
9.	Referenties	49
Bijlage 1	Interview Miriam van Reijen.....	53
Bijlage 2	Interview Thomas Waanders.....	58
Bijlage 3	Interview met Marleen de Moor	61
Bijlage 4	Interview Karin de Bruin	65
Bijlage 5	Interview Jeroen Coenemans.....	68
Bijlage 6	Model marathonloper	

Inleiding

In het onderwijs is de afgelopen jaren een lichte verschuiving te zien op het gebied van genetica onderwijs. Tegenwoordig wordt er meer nadruk gelegd op de relatie tussen genetische- en omgevingsfactoren. Dit komt mede doordat het onderzoek zich meer richt op de relatie tussen deze factoren bij uiteenlopende eigenschappen. Voor het onderwijs zijn er echter nog weinig duidelijke voorbeelden beschikbaar van deze interacties. Het voorbeeld dat in deze scriptie wordt uitgewerkt is het portret van een marathonloper. De onderzoeksvraag in deze literatuurscriptie is: 'Welke factoren bepalen of een hardloper als eerste over de finish van de marathon komt?' Deze vraag wordt uiteindelijk voorgelegd aan deskundigen op sportgebied. In het onderzoeksdeel van deze scriptie wordt een model gemaakt van een aantal factoren die een rol spelen bij het behalen van de top als marathonloper. Dit model wordt voorgelegd aan een biologie docent om te bepalen of het model actueel, correct en bruikbaar is in het onderwijs.

De afgelopen jaren is het wereldrecord van de marathon keer op keer verbeterd. In 2008 liep Gebrselassie het wereldrecord bij de mannen in een tijd van 2:03:59 uur. De tijd van dit wereldrecord verschilt 16 minuten met het wereldrecord in 1950. In 1970 was er een enorme verbetering te zien in de marathontijd. Deze verandering kwam mede doordat de Afrikanen vanaf 1960 mochten deelnemen aan internationale wedstrijden. Rond 1980 kwamen er veranderingen in de renwereld. Zo werd het prijzengeld verhoogd en konden hardlopers van hun sport hun beroep gaan maken. Door allerlei veranderingen wordt de marathon steeds sneller gelopen. Wetenschappers proberen een inschatting te maken wanneer het moment gaat aanbreken dat de eerste marathon onder de twee uur wordt gelopen. Statistische modellen suggereren dat dit rond 2035 zal zijn¹.

Tegenwoordig wordt er veel onderzoek gedaan naar het lopen van een marathon. Sportfysiologen blijven zoeken naar het geheim van Gebrselassie en vele andere toplopers. Onderzoekers proberen te bepalen wat de efficiëntste looptechniek is en welke lichaamsbouw daar het beste bij hoort. Het huidige onderzoek richt zich ook op de genetische kant van het hardlopen. Zo proberen onderzoekers te bepalen welke genen een loper het beste kan bezitten om als eerste over de finish van de marathon te komen. Hardlopen wordt steeds populairder waardoor de markt voor het lopen vergroot. Er is nu een breed scala te vinden aan goede hardloopschoenen en een grote diversiteit aan (sport)voeding.

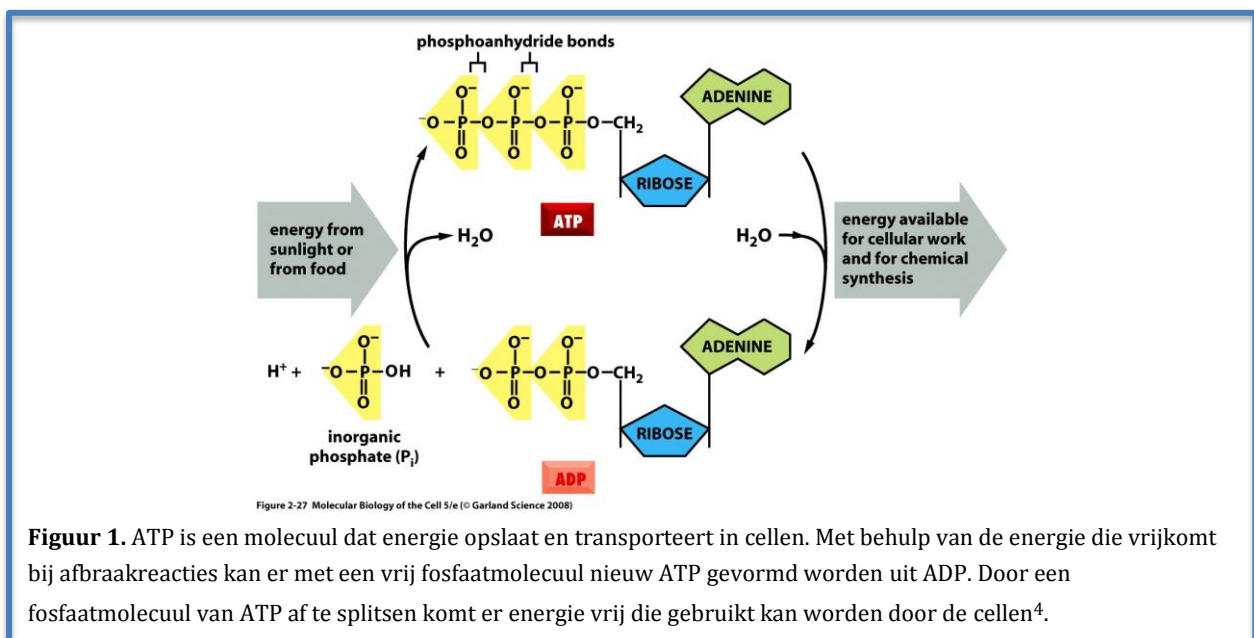
Kenianen lopen al jaren voorop bij marathons. Van de 50 snelste marathons ooit werd 41 van deze marathons gewonnen door een loper afkomstig uit Kenia of Ethiopië². Dit zou kunnen komen doordat ze genetisch voordeel hebben, maar het zou ook kunnen komen door de manier van opvoeding, de condities waarin de Kenianen trainen of de drijfveer om het prijzengeld te winnen. Soms is het ook een niet-Keniaan die de marathon wint¹. Dit zou kunnen doordat de atleet mutaties in het DNA draagt of door bepaalde omgevingsfactoren.

Aangezien het onderwerp van de scriptie complex is worden vier onderwerpen behandeld die een grote rol spelen bij het behalen van de top in de marathonwereld: energiehuishouding, zuurstoftransport, spieren en doorzettingsvermogen.

1. De energiehouding

Een mannelijke atleet van 75 kg verbruikt ongeveer 900 kilocalorieën (kcal) per uur als hij met een snelheid van 16 km per uur de marathon loopt. Er van uitgaande dat een ervaren marathonloper er iets minder dan 2,5 uur over doet zal hij ongeveer 2500 kcal verbruiken. Hierbij is het aantal kcal nog niet opgeteld wat nodig is voor de normale processen in het lichaam, ongeveer 2000 tot 2500 kcal per dag³.

De energie die nodig is voor het lopen van een marathon kan uit verschillende bronnen worden gehaald. De voornaamste bronnen zijn koolhydraten (glucose) en vetten. Onder normale omstandigheden worden eiwitten niet als brandstof gebruikt, aangezien er dan spieraafbraak plaatsvindt. Spiereiwitten worden alleen als brandstof gebruikt tijdens perioden van vasten. Daarnaast is de bijdrage aan de vorming van ATP verwaarloosbaar klein bij de afbraak van spiereiwit. Vandaar dat de eiwitaafbraak niet wordt besproken. De meest directe vorm om energie op te slaan en te transporteren is in de vorm van adenosinetrifosfaat (ATP), figuur 1.



ATP is opgebouwd uit adenosine en drie fosfaatgroepen, waarvan de bindingen energierijk zijn. Om ATP te vormen moet ADP gekoppeld worden aan een fosfaatgroep met vrijgekomen energie. Om de energie die is opgeslagen in ATP weer vrij te maken moet de buitenste energierijke fosfaatbinding worden verbroken. Hierbij komt een hoeveelheid energie vrij van 33,5kJ (8 kcal) en ontstaat adenosinedifosfaat (ADP) en fosforzuur (P). De energie die bij de afsplitsing van een fosfaatgroep van het ATP-molecuul is ontstaan kan overal in het lichaam gebruikt worden om arbeid te verrichten, bijvoorbeeld in een spiercel.

Er zijn drie verschillende energiesystemen. Bij het ATP-CP-systeem wordt het molecuul creatinefosfaat (CP) afgebroken. In het tweede en derde systeem wordt er energie gevormd door de afbraak van voedingsstoffen. Deze reactie kan met zuurstof (aeroob) of zonder zuurstof (anaeroob) plaatsvinden. De energie die vrij komt bij de afbraakreacties van alle drie de

systemen wordt gebruikt om ATP te vormen. Het gevormde ATP wordt opgeslagen in de spiervezels³.

1.1 ATP-CP-systeem

Het ATP-CP-systeem is verantwoordelijk voor de eerste vier tot tien seconden van een sprint. Dit is niet te vergelijken met de tijd die een marathonloper over 42,2 km doet, maar toch kan dit systeem enige invloed hebben op de prestatie van een loper. Aan het einde van een marathon wordt er soms nog een kleine sprint gemaakt richting de finish en sommige marathonatleten zetten zelfs al vroeg in de marathon een sprint in. Tijdens een sprint moet er heel snel energie vrij worden gemaakt waardoor dit systeem anaeroob van aard is.

Het molecuul creatinefosfaat is vergelijkbaar met ATP. Beide moleculen liggen opgeslagen in de spiervezels en bevatten energierijke fosfaatgroepen. Bij de afsplitsing van creatinefosfaat ontstaat creatine (C) en fosforzuur (P). De energie die hierbij vrij komt wordt gebruikt om ADP met een fosfaatgroep om te zetten in ATP. Het gevormde ATP is genoeg voor de eerste vier seconden van een sprint. Creatine kinase is een belangrijk enzym dat de afbraak van creatinefosfaat reguleert.

1.2 Anaerobe glycolyse of melkzuursysteem

Een deel van de glycolyse is net als het ATP-CP-systeem, anaeroob van aard. Deze systemen zorgen ervoor dat er snel energie vrij wordt gemaakt. Om energie te vormen is er brandstof nodig. Glucose is de meest voornamelijk brandstof. Koolhydraten worden in het lichaam afgebroken tot monosacchariden, zoals glucose. Glucose kan direct gebruikt worden of het kan worden opgeslagen in de vorm van glycogeen in de lever en de spieren. De hoeveelheid glycogeen die kan worden opgeslagen in het lichaam van een getrainde man van ongeveer 70 kg ligt tussen de 400 en 600 gram. Er wordt ongeveer 100 gram in de lever en 350 gram in de spieren opgeslagen. De voorraad in de spieren wordt tijdens de marathon volledig gebruikt. Het opgeslagen glycogeen in de lever kan niet volledig worden verbruikt, anders komt men 'de man met de hamer' tegen. Wanneer er ongeveer 500 gram glycogeen wordt opgeslagen in het lichaam, is daarvan 84 procent beschikbaar tijdens het lopen van een marathon. Wanneer er geen glycogeen meer beschikbaar is in de spieren en het bloed vindt er een overgang plaats naar de afbraak van vetten.

Bij de anaerobe glycolyse wordt glycogeen in twaalf afzonderlijke reacties afgebroken. Bij ieder van deze reacties is een specifiek enzym nodig⁵. De afbraak van één glucosemolecuul zorgt voor de vorming van twee moleculen pyrodruivenzuur. Bij de afbraak van glucose tot pyrodruivenzuur wordt 4 ATP en 2 NADH gevormd. Er komt echter niet alleen energie vrij, er is ook 2 ATP nodig voor de afbraakreactie. De 2 NADH kunnen in de elektronentransportketen worden omgezet in 3 ATP. Met de omzetting van NADH in ATP en het netto resultaat van het ATP verbruik/opbrengst kan er in totaal 6 ATP worden gevormd.

Doordat al deze reacties in afwezigheid van (voldoende) zuurstof plaatsvinden, vindt er onvolledige afbraak plaats van glycogeen. In aanwezigheid van voldoende zuurstof wordt het gevormde pyrodruivenzuur afgebroken tot kooldioxide (CO₂) en water (H₂O), maar als er onvoldoende zuurstof aanwezig is wordt het omgezet in melkzuur, ook wel lactaat genoemd.

Wanneer de concentratie lactaat toeneemt in de spieren en het bloed kan er uiteindelijk spiervermoeidheid ontstaan.

In rust ligt de concentratie lactaat tussen de 0,5 en 2 mmol per liter bloed. Bij inspanning, zonder te hard van start te gaan, neemt deze concentratie toe tot ongeveer 2 tot 4 mmol/liter bloed. Wanneer de concentratie 4 mmol lactaat per liter bloed is bereikt, is er sprake van een fase van verzuring. De concentratie lactaat kan toenemen tot ongeveer een maximum van 12 mmol lactaat per liter bloed³. Door de productie van melkzuur kan de anaerobe glycolyse niet voor langere duur plaatsvinden, maar vindt er een overgang plaats naar het aerobe energiesysteem.

1.3 Aerobe energiesystemen

Glucose kan met behulp van zuurstof volledig afgebroken worden tot CO_2 en H_2O en zonder productie van lactaat. Met behulp van het aerobe energiesysteem kan veel meer ATP gevormd worden dan met het anaerobe energiesysteem, alleen gaat het proces langzamer. De aerobe en de anaerobe reacties verlopen allebei in de spiervezel, alleen vinden de aerobe reacties in de mitochondriën plaats. Het mitochondrion bevat twee membranen, het binnenste membraan bevat heel veel plooien, cristae genoemd. Deze plooien bestrijken een groot deel van het oppervlak en bevatten enzymesystemen. Het aerobe zuurstofsysteem kan worden opgesplitst in drie reacties: de aerobe glycolyse, de krebscyclus en het elektronentransportsysteem.

1.3.1 Aerobe glycolyse

De anaerobe glycolyse is al behandeld in paragraaf 1.3. Het verschil met de aerobe glycolyse is de aanvoer van zuurstof. Het pyrodruivenzuur kan in de krebscyclus, met voldoende zuurstof, worden afgebroken tot CO_2 en H_2O , in plaats van lactaat, waardoor er geen vermoeidheid in de spieren optreedt.

1.3.2 Krebscyclus

Glucose wordt allereerst afgebroken tot pyrodruivenzuur. Vervolgens wordt pyrodruivenzuur verder afgebroken in de krebscyclus, genoemd naar de ontdekker van de cyclus, Hans Krebs. De cyclus wordt ook wel tricarbonzuurcyclus of citroenzuurcyclus genoemd. Tijdens de krebscyclus vinden er drie belangrijke reacties plaats. Als eerste de productie van CO_2 , vervolgens oxidatie van verbindingen uit de Krebscyclus en daarna de vorming van energierijke moleculen. Tijdens deze cyclus wordt zowel ATP als GTP, NADH en FADH_2 gevormd. Dit zijn allemaal energierijke moleculen. Met oxidatie wordt het onttrekken van elektronen uit chemische verbindingen bedoeld. Dit gebeurt door waterstofatomen te onttrekken uit moleculen die uit pyrodruivenzuur of glycogeen zijn gevormd. Een waterstofatoom bestaat uit een kern met een positief geladen deeltje (proton) met daaromheen een negatief geladen deeltje (elektron). Wanneer waterstofatomen uit een verbinding worden gehaald wordt de verbinding als het ware geoxideerd. Wanneer de H-atomen worden onttrokken uit acetyl-CoA blijven alleen de C- en O-atomen over, waar vervolgens CO_2 uit gevormd kan worden. De afbraak van pyrodruivenzuur wordt door verschillende enzymen gekatalyseerd.

Per mol glucose wordt de krebscyclus twee keer doorlopen, aangezien er twee moleculen pyrodruivenzuur worden gevormd. Pyrodruivenzuur wordt als eerste afgesplitst in de moleculen acetyl-CoA en CO_2 . Het CO_2 gaat eerst naar het bloed en wordt vervolgens naar de

longen getransporteerd, waar het wordt uitgeademd. Het acetyl-CoA bevat koolstofatomen, waterstofatomen en zuurstofatomen en gaat de krebscyclus in.

De krebscyclus start met de koppeling van acetyl-CoA aan oxaalacetaat, waardoor citroenzuur wordt gevormd. Door de afsplitsing van een watermolecuul wordt citroenzuur omgezet in isocitroenzuur. Vervolgens wordt α -ketoglutaarzuur en NADH gevormd. Het α -ketoglutaarzuur wordt omgezet tot succinyl-CoA en hierbij wordt ook NADH en GTP gevormd. Als laatste wordt er fumaarzuur gevormd waarbij FADH_2 wordt gevormd. Om uiteindelijk weer bij de uitgangsstof van de krebscyclus te komen is een watermolecuul nodig. Bij deze reactie ontstaat nog een molecuul NADH. In de gehele krebscyclus wordt 3 NADH, 1 FADH_2 en 1 GTP gevormd. Aangezien de cyclus twee keer doorlopen moet worden levert de totaalreactie 6 NADH, 2 FADH_2 en 2 GTP op. Het gevormde NADH kan in de elektronentransportketen omgezet worden in ATP^5 .

1.3.3 Elektronentransportsysteem (ETS)

In de krebscyclus zijn verschillende energierijke moleculen gevormd, zoals NADH en FADH_2 . Met behulp van het elektronentransportsysteem kan ATP gevormd worden. Zowel NADH als FADH_2 bevatten twee elektronen met hoog potentiaal. Bij de overdracht van deze elektronen naar zuurstofmoleculen komt energie vrij waardoor ATP gevormd kan worden. De moleculen NADH en FADH_2 worden als het ware omgezet in ATP. Het elektronentransportsysteem vindt plaats in de binnenste membraan van de mitochondriën. De oxidatie van NADH en FADH_2 en de vorming van ATP zijn gekoppeld door een protonen gradiënt over het binnenmembraan van de mitochondriën. Er zijn drie pompen van belang die allemaal door elektronen worden aangedreven: NADH-Q reductase, cytochroom reductase en cytochroom oxidase. Daarnaast is ATP synthase nodig, dit is een complex dat niet door elektronen wordt aangedreven, maar door protonen. Bij het elektronentransportsysteem wordt water gevormd. Twee mol water wordt gevormd door fusie van vier waterstofatomen, vier elektronen en één zuurstofmolecuul. De waterstofatomen en elektronen zijn afkomstig uit de krebscyclus. Het watermolecuul wat in dit systeem geproduceerd wordt, wordt vervolgens weer verbruikt in de krebscyclus.

1.4 Vetmetabolisme

Koolhydraten en vetten zijn bij langdurige inspanningen, zoals de marathon, de belangrijkste voedingsstoffen. Beide worden afgebroken tot CO_2 en H_2O en de vrijgekomen energie kan gebruikt worden om ATP te vormen. In het begin van de marathon is glycogeen het belangrijkste en aan het eind zijn het vooral de vetten. Een getrainde hardloper haalt de energie voornamelijk uit de verbranding van vetten, terwijl een niet getrainde hardloper de energie voornamelijk uit koolhydraten haalt⁵. Vetten bevatten twee keer zoveel energie als koolhydraten en eiwitten⁶. Dat wil niet zeggen dat de vetreserve belangrijker is. Glycogeen uit koolhydraten kan relatief veel sneller worden benut, ten opzichte van vetten. De grootte van de koolhydraatreserve is daarentegen veel kleiner dan de vetreserve. Om een vergelijking te maken zou de vetvoorraad theoretisch gebruikt kunnen worden om drie dagen onafgebroken te rennen op een laag tempo⁶. De voorraad koolhydraten, in de vorm van glycogeen, in ons lichaam kan gebruikt worden voor maximaal een uur tot anderhalf uur zware inspanning. De spieren die het meest worden gebruikt tijdens inspanning zijn in werkelijkheid na ongeveer een half uur door hun voorraad glycogeen heen en vervolgens moet er overgegaan worden op de afbraak van vetten. De afbraak

van vetten begint met de bèta-oxidatie. De vetzuren worden in dit proces gedeeltelijk afgebroken tot verbindingen die de krebscyclus en het elektronentransportsysteem in kunnen, zie paragraaf 1.3.2 en 1.3.3. Vetten leveren uiteindelijk meer ATP op dan glucose, alleen is ook meer zuurstof voor nodig.

1.5 ATP opbrengst

In totaal wordt er 37 ATP gevormd bij de afbraak van één molecuul glucose, waarvan drie ATP in de aerobe glycolyse, twee in de krebscyclus en 32 in de ademhalingsketen. Het grootste deel ATP wordt gegenereerd met behulp van het elektronentransportsysteem, waarbij water wordt gevormd. Er is in totaal zes mol zuurstof nodig voor de aerobe afbraak van één mol glucose. Aangezien één mol van elk willekeurig gas bij standaardtemperatuur en standaarddruk een volume inneemt van 22,4 liter, betekent dit voor zes mol zuurstof een volume van 134,4 liter. Dit is de hoeveelheid zuurstof die nodig is om 37 mol ATP te kunnen vormen. Voor één mol ATP is 3,65 liter zuurstof nodig. In rust duurt het ongeveer 10 tot 15 minuten voordat het lichaam zoveel zuurstof heeft verbruikt. Wanneer het lichaam erg belast wordt door zware inspanning duurt dit proces een minuut. Vandaar dat zuurstoftransport heel erg belangrijk is voor de energiehuishouding. Zie voor meer informatie over zuurstoftransport hoofdstuk drie.

2. De energiehuishouding bij een marathonloper

In het vorige hoofdstuk is de energiehuishouding aan bod gekomen. In dit hoofdstuk wordt besproken hoe de energiehuishouding verloopt tijdens het lopen van een marathon. Hierbij wordt onder andere naar de voeding van een atleet gekeken. Het is essentieel dat een atleet goed eet aangezien dit mee speelt bij het winnen van een marathon. Het is moeilijk om een dieet te maken waar van gebleken is dat het de prestatie optimaal verbetert, aangezien dit ook afhangt van de voorkeuren van een atleet. Daarnaast zijn er veel verschillende meningen over voeding. In dit hoofdstuk zijn een aantal richtlijnen weergegeven voor goede voeding voor en na het lopen van een marathon. Daarnaast worden er een aantal genen besproken die (mogelijk) een rol spelen bij een verbeterde aanleg van de energiehuishouding.

2.1 Voeding van een atleet

Bij inspanningen langer dan dertig minuten ontstaat vermoeidheid meestal door uitdroging en uitputting van de glycogeenvoorraden⁷. Om een goede prestatie neer te zetten is het belangrijk dat een atleet veel koolhydraten eet en daarom staan deze hoog op de voedingslijst. Er zijn aanwijzingen dat spierversmoeidheid kan optreden doordat de voorraad glycogeen niet optimaal is. Dit geldt zelfs als er als alternatieve brandstof nog vetten aanwezig zijn^{8,9}. Uitdroging kan ontstaan doordat een atleet veel vocht verliest door te zweten. Om dit te voorkomen is het belangrijk om voldoende te drinken¹⁰. Naast vermoeidheid kunnen darmklachten en verschillen in de temperatuurbalans voor een verminderde prestatie zorgen. Mogelijk is het hebben van darmklachten genetisch bepaald, maar ze kunnen ook ontstaan door een te hoge concentratie aan koolhydraten, vetten, eiwitten of vezels in de voeding. In de volgende paragrafen wordt de voeding voor, tijdens en na de marathon besproken.

2.1.1 Aantal dagen voor de marathon

Het is belangrijk om een aantal dagen voor de marathon de glycogeenvoorraden goed aan te vullen door voeding met koolhydraten te nuttigen. Koolhydraten zitten onder andere in pasta, rijst en aardappelen. In een onderzoek wordt gesuggereerd dat een atleet twee tot drie procent van zijn tijd zou kunnen verbeteren wanneer de glycogeenvoorraden maximaal zijn aangevuld¹¹. Dit zou gelden voor inspanningen langer dan 90 minuten, dus ook voor de marathon. Maar in een ander onderzoek vinden onderzoekers geen bewijs voor een verbeterde of verminderde prestatie bij volledige aanvulling van de glycogeenvoorraden¹². Dit zou mogelijk te maken kunnen hebben met de eigenschap van glycogeen dat het water aantrekt, waardoor het gewicht van de atleet iets toeneemt. Het netto-effect van het volledig aanvullen van de glycogeenvoorraden zou weg kunnen vallen tegen de lichte gewichtstoename waardoor er geen effect in prestatie waargenomen zou kunnen worden. Henk-Jan Koershuis, deskundige op het gebied van sportvoeding, raadt marathonlopers aan om één á twee dagen voor de marathon twee bidons van 750 ml Carbo Loader te drinken¹³. Carbo Loader is een drank die koolhydraten bevat die langzaam worden opgenomen en opgeslagen. Dit advies wordt onderbouwd door het artikel Nutrition and Athletic Performance⁷. In dit artikel wordt beweerd dat voeding met een hoog koolhydraatgehalte (>60%), een normaal eiwitgehalte en een relatief lager vetgehalte een positief effect heeft op de prestatie bij het lopen van een marathon. Koershuis geeft aan dat elke

sporter anders is, en het daarom lastig is om een algemeen dieet voor te schrijven. De wensen van een atleet zijn erg belangrijk.

2.1.2 De dag van de marathon

Volgens Koershuis moet er twee á drie uur voorafgaande aan de marathon voor het laatst goed gegeten worden. Dit wordt ondersteund door andere onderzoeken. Het nuttigen van koolhydraten is effectief tot drie á vier uur voor de marathon¹³. Daarnaast wordt afgeraden om dertig tot zestig minuten voor de wedstrijd nog te eten, aangezien dit een averechts effect zou kunnen hebben op de prestatie door een plotseling verschil in de glucose balans.¹⁴ De glucose concentratie stijgt eerst door het eten van koolhydraten, waarna er vervolgens een enorme piek van insuline ontstaat. Vervolgens vindt er een daling plaats van de glucose spiegel in het bloed. Dit proces duurt ongeveer een uur waardoor de atleet net na de start last kan krijgen van een 'glucose-dipje'. Om de glucose spiegel op een normaal niveau te hebben bij de start is het verstandig om vlak voor de wedstrijd niet meer te eten.

Ontbijten met wit brood is effectief, omdat het snel wordt omgezet naar energie. Daarnaast zitten er in bruin brood vezels, waardoor de vertering in de darmen op gang wordt gebracht¹⁵. Tijdens het lopen van een marathon is het essentieel dat er zoveel mogelijk bloed naar de spieren gaat en zo min mogelijk naar het verteringsstelsel, vandaar dat vezels en vet vermeden moeten worden. Hierdoor wordt de kans op darmklachten ook verminderd. Als beleg kan het beste gekozen worden voor producten die veel koolhydraten bevatten, zoals stroop, honing of jam. Zuivelproducten kunnen beter niet worden genuttigd aangezien dit voor extra slijmproductie kan zorgen. Er moet zo min mogelijk vet worden gegeten, dus liever geen vlees. Of er moet voor mager vlees gekozen worden zoals kipfilet. Daarnaast is het verstandig om koffie te laten staan, aangezien het vocht uit het lichaam onttrekt. Met behulp van het drinken van Carbo loader kunnen de laatste voorraden glycogeen en de vochtbalans aangevuld worden. Het zou ook kunnen om voor een isotone sportdrink te kiezen aangezien deze koolhydraten bevat die snel worden opgenomen, hierdoor is de glucose balans aan de start op peil. Dit ter voorkoming van het verschijnsel 'de man met de hamer'⁴.

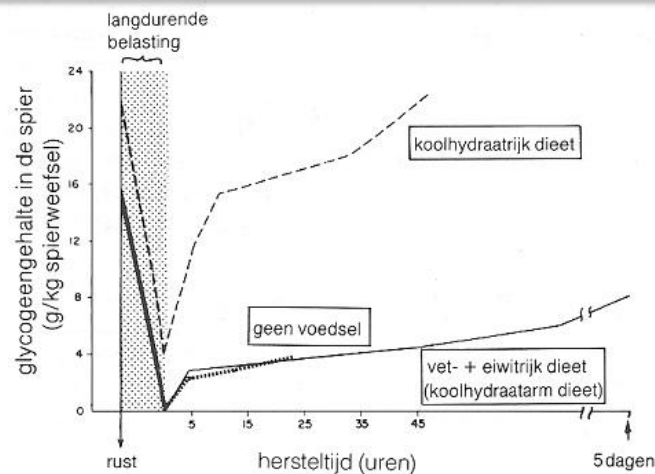
Hier geldt weer, de wensen van de atleet, blijven het belangrijkste. Wanneer een atleet merkt dat hij/zij nog trek heeft, is het verstandig om nog iets kleins te eten zoals bijvoorbeeld een energie reep, ondanks dat dat eigenlijk wordt afgeraden. Dit zal in de realiteit niet vaak voorkomen, aangezien atleten goed op de hoogte zijn van hun lijf en een vast voedingspatroon hebben.

2.1.3 Tijdens de marathon

Tijdens de marathon is het van belang om de glucose spiegel in stand te houden en de vochtbalans aan te vullen. Koershuis geeft aan dat de eerste twintig km vooral op vast voedsel kan worden gelopen zoals energie-repen en isotone gels. Vanaf de twintig kilometer kan er overgestapt worden op hypotone gels. Daarnaast is het belangrijk dat de atleet bij iedere drinkpost iets drinkt, al is het maar een kleine hoeveelheid. Het is afhankelijk van de atleet of het water is of sportdrink⁸.

2.1.4 Na de marathon

Glycogeenvoorraden worden aangesproken bij langdurige inspanningen. De duur van het herstel van de voorraden is afhankelijk van de mate van inspanning en de hoeveelheid koolhydraten die worden gegeten in de herstelfase. Meestal duurt de herstelfase na de marathon enkele dagen⁸.



Figuur 2. In de figuur is te zien dat door langdurige belasting de glycogeenvoorraden opraken. Wanneer er geen voedsel of voeding zonder koolhydraten wordt gegeten wordt de glycogeenvoorraad niet voldoende aangevuld en vindt er geen volledig herstel plaats. Herstel kan pas plaatsvinden als er genoeg koolhydraten worden gegeten gedurende twee dagen¹⁶.

Na een twee uur durende inspanning vinden er verschillende herstelfasen plaats. In de allereerste fase van het herstel, één á twee uur na de belasting, wordt er een klein beetje glycogeen in de spier gevormd. Om de volledige voorraad aan glycogeen in de spier terug te krijgen zijn er koolhydraten uit voedsel nodig. Glycogeen kan gevormd worden uit verschillende precursors: lactaat, pyrodruivenzuur en glucose. Glucose is de voornaamste precursor en dit is vooral afkomstig uit koolhydraten. Koershuis geeft aan dat er zo snel mogelijk moet begonnen worden met herstelvoeding. Het is verstandig om binnen 45 minuten een herstelshake te nemen en genoeg isotone sportdrank. De uren na de marathon moet er veel water worden gedronken en een goede maaltijd met veel koolhydraten worden genuttigd. Eiwitrijk voedsel is ook belangrijk zodat de aminozuren gebruikt kunnen worden om het spierweefsel op te bouwen en te herstellen⁴. Wanneer er niet genoeg koolhydraten worden gegeten, wordt er maar een kleine hoeveelheid glycogeen gevormd. Het is essentieel dat een atleet kort na de inspanning, maar ook de dagen na de marathon genoeg koolhydraten binnen krijgt, zodat de glycogeenvoorraden hersteld kunnen worden. Coaches van duursporters moeten er goed op letten dat hun atleten genoeg koolhydraten binnen krijgen zodat de glycogeenvoorraden optimaal aangevuld worden.

2.2 Hoogtestage

Veel sporters doen tegenwoordig aan hoogtestage, ook hardlopers. Meestal vertrekken de sporters een aantal weken naar een gebied wat hoger gelegen is dan het zeeniveau. Uit onderzoek is gebleken dat hoogtestage een positieve invloed heeft op het prestatievermogen.

2.2.1 Malaat dehydrogenase

In een studie naar het effect van hoogtestage vonden onderzoekers een verschil in activiteit van metabole enzymen in type I spiervezels bij personen die op grote hoogte leven (>3300 meter), in vergelijking met personen op zeeniveau¹⁷. Zo is de enzymactiviteit van malaat dehydrogenase, een enzym wat een rol speelt in de krebscyclus, 19,6 procent minder bij de mensen die op grote hoogte leven. Lactaat dehydrogenase, wat een rol speelt in de glycolyse, is 28,1 procent meer actief. Alle personen hebben deze enzymen, maar door op grote hoogte te trainen kan de activiteit van bepaalde enzymen toenemen wat kan leiden tot een verhoogde glycolyse. Dit is een voordelige verandering voor atleten aangezien er sneller energie kan worden vrijgemaakt door deze verandering.

2.2.2 Lactaat-systeem

De beste resultaten op de afstanden tussen de 1500 meter en de marathon worden volgens onderzoeker Owen Anderson behaald door het lopen van een negatieve split¹⁸. Dit betekent dat de tweede helft van een afstand sneller wordt gelopen dan de eerste helft. Het verschilt per atleet en per marathon, maar in het algemeen lijken de Kenianen nog nooit van een negatieve split gehoord te hebben en sprinten ze het liefst bij de start van een marathon al weg. Volgens de fysiologie is een sprint aan het begin van een lange afstand niet verstandig. Bij een hoge stijging van de concentratie lactaat in de spieren en het bloed ontstaat er vermoeidheid bij de marathonloper en kan de marathon niet (met een snelle tijd) uitgelopen worden. De concentratie lactaat wordt laag gehouden doordat de anaerobe systemen maar een korte tijd actief zijn en daarna worden overgenomen door aerobe systemen. Goede marathonlopers lopen de marathon in minder dan 2,5 uur en aan het eind van de wedstrijd is de concentratie lactaat in het bloed een factor twee tot drie hoger dan de concentratie in rust¹⁵. Dit geldt alleen voor marathonlopers die hun race geleidelijk opbouwen. Bij een atleet die de marathon met een te grote snelheid of te vroege eindsprint begint, kan de concentratie melkzuur en H^+ -ionen sterk stijgen. Een grote stijging van H^+ -ionen zorgt voor een pH verlaging in de spieren waardoor deze moeilijker kunnen contraheren en waardoor vermoeidheid ontstaat. Wanneer er te hard gestart wordt, worden de glycogeenvorraden gelijk in het begin sterk aangesproken waardoor er later in de marathon een tekort kan ontstaan. Het is van belang voor trainers om dit te weten, zodat ze de atleten in de trainingen kunnen laten oefenen met welke snelheid een marathon moet worden gestart en op welk moment er in de marathon een eindsprint kan worden ingezet.

Ondanks dat het volgens de fysiologie niet efficiënt is om de eerste helft van de marathon sneller te lopen dan de tweede, kunnen de Kenianen wel een sprint trekken aan het begin van de marathon. Kenianen blijken geen last te hebben van stapeling van lactaat en dus ook niet van spiervermoeidheid, doordat hun lactaatsysteem op een andere manier werkt. Bij de Kenianen wordt lactaat veel sneller verwerkt dan bij niet-Kenianen. Dit geldt ook voor de H^+ -ionen. De Na^+/H^+ -pomp zorgt ervoor dat het teveel aan waterstofionen uit de spieren wordt vervangen door natriumionen. Kenianen hebben hier een stapje voor, maar onderzoek heeft aangetoond dat intensief trainen en verblijf op hoogte ook voor een verbetering van het lactaat- en Na^+/H^+ -systeem kan leiden¹⁹. Het is niet duidelijk of de aanpassingen in het lactaat- en Na^+/H^+ -systeem bij Kenianen ontstaat doordat ze op grote hoogte zijn geboren en opgegroeid of dat het komt door genetische factoren. Aangezien ook veranderingen worden gevonden bij niet-Kenianen die

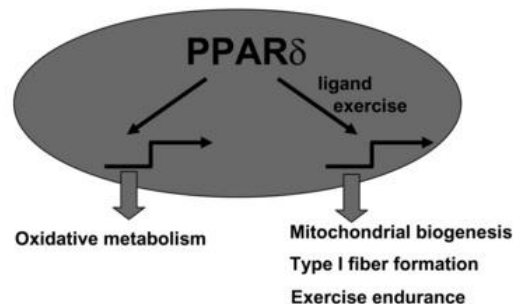
op grote hoogte trainen, speelt leven en trainen op hoogte waarschijnlijk een grote rol bij een verbeterende werking van de systemen.

2.3 Genen die mogelijk een rol spelen in aerobe energiesystemen

Ik heb helaas geen studies kunnen vinden waarin voorbeelden zijn gevonden van bepaalde variaties in genen van enzymen bij atleten waardoor de energiehuishouding efficiënter geregeld wordt. Zoals in paragraaf 2.2 is besproken, hebben Kenianen een beter ontwikkeld lactaat- en Na^+/H^+ -systeem. Het is niet duidelijk of de efficiëntie van deze systemen komt doordat de Kenianen op grote hoogte zijn geboren en opgegroeid of dat het komt door de aanwezigheid van bepaalde genvariaties. Het PPAR δ -gen blijkt daarentegen bijvoorbeeld wel een belangrijke functie te hebben bij de energiehuishouding.

2.3.1 PPAR δ -gen

Mitochondriale functie is erg belangrijk bij aerobe lichamelijke inspanning en bij insuline gevoeligheid. Het PPAR-gen codeert voor peroxisoom proliferatie-geactiveerde receptor en is een nucleaire hormoonreceptor²⁰. Dit gen heeft een belangrijke taak in de functie van de mitochondriën en daarmee ook bij langdurige inspanningen, zie figuur 3. De PPAR-genen worden geactiveerd door vetzuren. Er zijn drie verschillende isovormen van het PPAR-gen. Hier wordt alleen de δ -isovorm besproken, ook wel PPAR β , NUC1 of FAAR (fatty-acid activated receptor) genoemd.



Figuur 3. PPAR δ zorgt voor genexpressie van genen die betrokken zijn bij het oxidatieve metabolisme en bij duursporten, onder andere door in te werken op de mitochondriale functie²¹.

PPAR δ reguleert de genexpressie van genen die betrokken zijn bij het vet- en koolhydraat metabolisme en heeft invloed op de insuline gevoeligheid door de manier waarop glucose wordt opgenomen door de skeletspieren. Zo stimuleert het bijvoorbeeld de genexpressie van Carnitine Palmitoyltransferase I (CPT1) in de spieren.

Het PPAR δ gen is bij iedereen aanwezig, maar een polymorfisme in het gen is geassocieerd met aanleg voor duursporten²². In een onderzoek waar men een actief genvariant bij muizen heeft aangebracht is dit ook te zien²¹. De muizen met een verhoogde expressie van het PPAR δ -gen worden 'marathon-muizen' genoemd. Zonder oefening loopt de marathonmuis 1800 meter achter elkaar, terwijl de controle muizen al na 900 meter stoppen met lopen. Daarnaast blijft de muis mager, zelfs bij een vetrijk dieet. PPAR δ blijkt het aantal rode spiervezels te laten toenemen. Dit zijn de type I spiervezels die essentieel zijn bij het lopen van marathons. Hierdoor kan ook verklaard worden waarom de muizen mager blijven, aangezien rode spiervezels meer

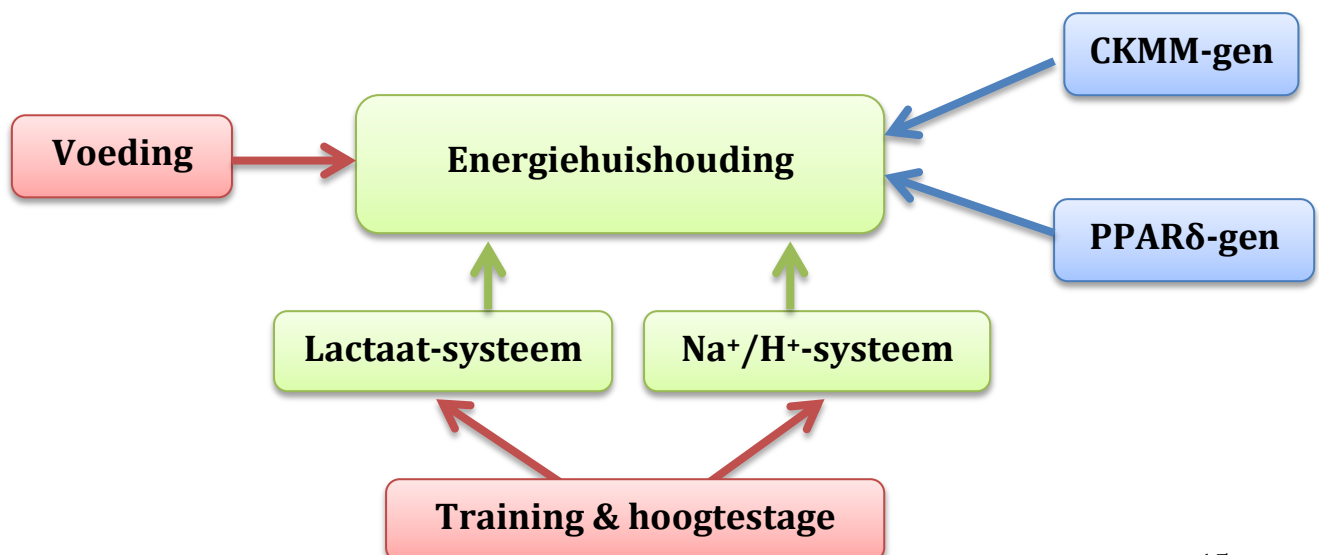
vet verbranden dan witte spiervezels. De hoeveelheid myoglobine is ook toegenomen door de expressie van PPAR δ wat ook weer voordelig is voor het zuurstoftransport.

2.3.2 CKMM-gen

Het CKMM-gen is verantwoordelijk voor de productie van het eiwit creatine kinase (CK) in de spieren. Creatine kinase is een belangrijk enzym dat de afbraak van creatinefosfaat reguleert. Iedereen bezit het CKMM-gen en daarmee het enzym creatine kinase (uitzonderingen buiten beschouwing gelaten). Er kunnen varianten voorkomen waardoor het gen tot overexpressie komt. Dit zou betekenen dat er veel meer enzym aanwezig is en dat de reacties van het fosfaatsysteem sneller kunnen verlopen. Hierdoor kan ATP sneller dan normaal worden gevormd. Overexpressie van het CKMM-gen heeft vooral effect bij het nemen van een sprint. Bij een marathon kan er op het einde van de loop nog een eindsprint worden ingezet waardoor creatine kinase een belangrijke rol kan gaan spelen. Een polymorfisme in het CKMM-gen wat voor een verhoogde enzymactiviteit zorgt, zou een voordelige uitwerking kunnen hebben bij het maken van een eindsprint.

2.4 Overzicht energiesystemen marathonloper

Omgevingsfactoren die een positieve invloed hebben op de energiehuishouding van een loper zijn voeding, training en hoogtestage. Met behulp van voeding kan het lichaam in een goede staat worden gebracht voor de marathon. Door het aanvullen van de glycogeenvoorraden zal er minder snel spierversmoeidheid ontstaan en kan de loper langer doorgaan. Training op grote hoogte leidt onder andere tot een verbeterd lactaat- en Na⁺/H⁺-systeem waardoor verzuring van de spieren tegen kan worden gegaan. Door intensieve training op hoogte zouden Europeanen de sprintjes van de Kenianen mogelijk in het begin van de marathon bij kunnen houden. Het is niet gelukt om specifieke genen te vinden waarin variaties bij atleten zijn gevonden die verantwoordelijk zijn voor een betere energiehuishouding. Een actieve variant van het PPAR δ -gen heeft een positieve invloed op het oxidatieve metabolisme, mitochondriale functie en vorming van type I spiervezels. Een actieve variant van het CKMM-gen zou verantwoordelijk kunnen zijn voor een goede sprint aan het einde van de marathon. Hieronder is het schema te zien van de verschillende factoren die invloed hebben op de energiehuishouding.



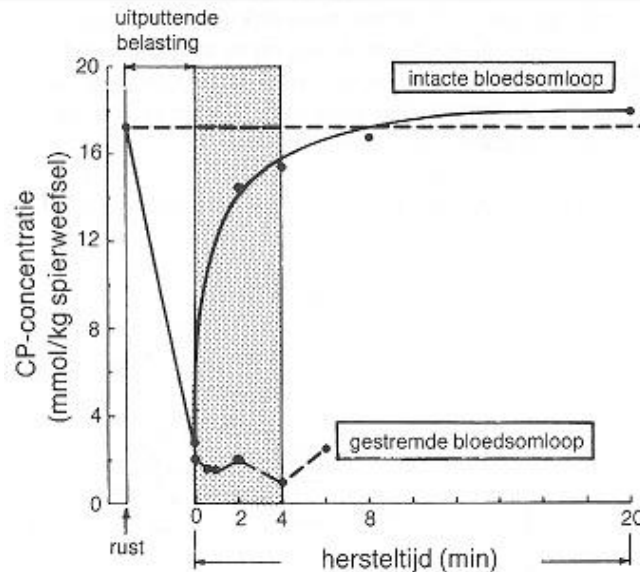
3. Zuurstof transport

In hoofdstuk 1 en 2 is te lezen dat zuurstof bij veel processen essentieel is om voor goede afbraak reacties te zorgen waardoor ATP gevormd kan worden zonder productie van lactaat. Dit is vooral belangrijk bij inspanningen langer dan tien minuten, zoals de marathon. Het maximale aerobe uithoudingsvermogen, ook wel de VO_2 max genoemd, is de maximale snelheid waarmee zuurstof kan worden verbruikt. Hoe hoger de VO_2 max is, hoe hoger het prestatieniveau ligt bij langdurige inspanning. De VO_2 max heeft een genetische component, maar is te verbeteren door veel te trainen.

Zuurstof is zowel belangrijk gedurende inspanning als bij het herstel na een lange belastende inspanning, ook wel de herstelfase genoemd. De hoeveelheid zuurstof die tijdens het herstel van het lichaam extra wordt gebruikt in de rusttoestand wordt het zuurstofoverschot genoemd. Hoe lang de herstelfase duurt is afhankelijk van de lengte en intensiteit van de voorafgaande inspanning. Het zuurstofverbruik neemt exponentieel af in de tijd na een zware inspanning³. De eerste twee tot drie minuten neemt het zuurstofverbruik heel snel af, ook wel de fase van het niet-melkzuur-deel van het zuurstofoverschot. Vervolgens verloopt het proces trager in de fase van het melkzuurdeel van het zuurstofoverschot. In de laatste fase bereikt het zuurstofverbruik een constante waarde, de rusttoestand.

Met behulp van de 'extra' zuurstof wordt het lichaam weer terug gebracht naar de rust-situatie. Uit verschillende onderzoeken is gebleken dat de hoeveelheid ATP en CP die tijdens de belasting door de spier is verbruikt weer binnen een aantal minuten wordt aangevuld in de herstelfase van het niet-melkzuurdeel van het zuurstofoverschot^{23, 24}. Dit is gemeten door biopsies te nemen van de musculus vastus lateralis tijdens de belasting, maar ook op verschillende momenten in de herstelfase. Vervolgens zijn in deze biopsies de hoeveelheid ATP en CP gemeten. Hieruit blijkt dat de aanvulling van de energierijke fosfaten binnen dertig seconden al voor zeventig procent hersteld zijn. Na drie tot vijf minuten zijn alle energierijke fosfaten vervolgens hersteld. In dit onderzoek werd aangetoond dat de aanvulling van CP afhankelijk is van zuurstoftoevoer. De aanvulling van CP werd onder twee verschillende omstandigheden onderzocht. In de eerste omstandigheid was er een normale doorbloeding van de belaste spier; een intacte bloedsomloop. Hier was duidelijk te zien dat de aanvulling van CP eerst heel snel verloopt en vervolgens iets vertraagt. In de tweede omstandigheid was er een gestremde toevoer van bloed naar de belaste spieren. In deze situatie werd CP niet aangevuld. Dit geeft een duidelijke aanwijzing voor het belang van de aanwezigheid van zuurstof om CP aan te kunnen vullen in de herstelfase.

Wanneer er meer energierijke fosfaten tijdens lichamelijke inspanning worden aangesproken zal tijdens het herstel meer zuurstof nodig zijn voor de aanvulling van deze voorraad. Bij niet-getrainde mannen varieert de hoeveelheid zuurstof die nodig is in de herstelfase tussen de twee en de drie liter, maar bij goed getrainde sporters worden er veel hogere waarden gevonden²⁵. Bij wedstrijdroeiers worden waarden gemeten boven de zes liter zuurstof²⁶. Dit heeft belangrijke gevolgen voor de prestatie. Wanneer een atleet tot een hogere waarde van de hoeveelheid zuurstof komt, kan hij/zij in het algemeen beter presteren.



Figuur 4. Aanvulling van de voorraad CP tijdens de herstelfase. Het herstel is in twee verschillende situaties nagebootst. De bovenste lijn geeft de intacte bloedsomloop aan en hierbij is te zien dat de hoeveelheid CP al na zo'n acht minuten bijna volledig hersteld is. De onderste lijn geeft het herstel aan bij een gestremde bloedsomloop. Hier is te zien dat CP bijna niet terug wordt gevormd door een gebrek aan zuurstof²³.

Een klein deel van de energie die nodig is om energierijke fosfaten aan te vullen kan geleverd worden door de anaerobe glycolyse, maar hiermee is geen totaal herstel mogelijk. De aerobe energie die nodig is voor de aanvulling van de voorraad energierijke fosfaten is afkomstig van de afbraak van koolhydraten en vetten (en waarschijnlijk een klein deel van lactaat) tot CO_2 en H_2O via de krebscyclus en het elektronentransportsysteem. Een deel van de energie wordt gebruikt om ATP op te slaan in de spier. Een ander deel van de energie wordt gebruikt om ATP af te breken zodat de vrijkomende energie gebruikt kan worden om CP te vormen en op te slaan in de spier.

Naast het aanvullen van de energierijke fosfaten en glycogeen moeten de vetten ook worden aangevuld, maar dat gaat via het eten van voldoende koolhydraten. Daarnaast is er ook zuurstof nodig voor de energievoorziening van het hart en de ademhalingspijpen die nog actief zijn en de energievoorziening van lichaamscellen in het algemeen. In de lichaamscellen is het metabolisme verhoogd door de hogere lichaamstemperatuur die bereikt is door de zware inspanning. Met behulp van het niet-melkzuurdeel van het zuurstofoverschot wordt het opgehoopte lactaat in de spieren en het bloed verwijderd. Al is dit niet van groot belang bij marathonlopers, aangezien de melkzuurconcentratie aan het einde van een marathon maar een factor twee tot drie verhoogd is ten opzichte van een rusttoestand. In de volgende paragrafen wordt het zuurstoftransport nader toegelicht.

3.1 Myoglobine

In het lichaam kan een kleine hoeveelheid zuurstof worden opgeslagen. Zuurstofopslag vindt voornamelijk plaats in de spier. Zuurstof is hier gebonden aan het molecuul myoglobine³. Myoglobine bevindt zich voornamelijk in de type I spiervezels, ofwel de langzame rode spiervezels. Dit molecuul lijkt op het molecuul hemoglobine, dat zuurstof bindt in de erythrocyten. Myoglobine zorgt onder andere voor de binding van zuurstof, maar heeft ook een functie bij de diffusie van zuurstof in de capillairen naar de mitochondriën in de spiervezels. Er is aangetoond dat er slechts 11,2 ml zuurstof gekoppeld is aan myoglobine per kilogram spiermassa²³. Een persoon van 70 kg heeft ongeveer een totale spiermassa van 30 kg en dit zorgt voor een voorraad van ongeveer 336 ml zuurstof. Bij topsporters is de spiermassa iets groter, maar toch zal de totale hoeveelheid aan zuurstof opslag niet groter zijn dan 500 ml. De aan myoglobine gekoppelde zuurstof speelt vooral een belangrijke rol bij intervaltrainingen. Als er te weinig zuurstof aanwezig is kan myoglobine de verbinding met zuurstof verbreken waardoor zuurstof vrij komt die gebruikt kan worden. Vervolgens kan er in rust weer zuurstof gekoppeld worden aan myoglobine.

3.2 Hemoglobine

Zuurstof wordt getransporteerd door bloedplasma en door hemoglobine, dat zich in de erythrocyten bevindt. De hoeveelheid opgelost zuurstof in plasma wat kan worden getransporteerd, is heel erg klein. De zuurstof die vanuit het plasma de erythrocyten in diffundeert kan een binding aangaan met hemoglobine waardoor oxyhemoglobine wordt gevormd. De transportcapaciteit van zuurstof van het bloed wordt hierdoor 65 keer vergroot. De oplosbaarheid van zuurstof in plasma is heel erg laag. In rust toestand draagt de opgeloste zuurstof voor drie tot vier procent bij aan de totale behoefte aan zuurstof in het lichaam. Onder zware inspanning is dit percentage nog maar twee procent. Wanneer de hoeveelheid opgelost zuurstof in het bloed daalt, zal dit leiden tot stimulering van de ademhaling en productie van erythrocyten. De totale transportcapaciteit van het bloed voor zuurstof wordt hierdoor verbeterd³.

Hemoglobine bestaat uit vier heemgroepen die ijzer bevatten en een eiwitdeel. De affiniteit van hemoglobine voor zuurstof heeft te maken met de eigenschappen van de heemgroepen. Iedere heemgroep kan een binding aangaan met één zuurstofmolecuul. Een hemoglobine molecuul kan hierdoor maximaal vier zuurstofmoleculen binden. Dit betekent dat er 1,34 ml zuurstof per gram hemoglobine getransporteerd kan worden. Wanneer één zuurstofmolecuul zich heeft gebonden aan hemoglobine, heeft hemoglobine een betere affiniteit voor het tweede zuurstofmolecuul wat wil gaan binden en de affiniteit versterkt zich tot aan het vierde zuurstofmolecuul. Tijdens lichamelijke belasting neemt de concentratie hemoglobine toe met vijf tot tien procent. Dit komt onder andere doordat vloeistof van het bloed naar de actieve spieren verplaatst waardoor het bloed als het ware indikt²⁷. Dit gebeurt vooral tijdens langdurige belasting en in een warme omgeving, waardoor de atleet veel zweet produceert.

4. Zuurstoftransport bij een marathonloper

In het vorige hoofdstuk is besproken waarom het zuurstoftransport zo belangrijk is bij het lopen van een marathon. In dit hoofdstuk wordt besproken welke factoren mee kunnen spelen om tot een beter zuurstoftransport te leiden.

4.1 MB-gen

Myoglobine zorgt relatief voor weinig zuurstofbinding in vergelijking met hemoglobine. Wanneer het gen voor myoglobine, het MB-gen, meer tot expressie zou komen, zou dit kunnen betekenen dat er meer zuurstof kan worden gebonden aan myoglobine in de spieren. Daarnaast zou het ook voor efficiëntere diffusie kunnen zorgen van zuurstof in de capillairen naar de mitochondriën in de spiervezels. Helaas heb ik geen artikelen gevonden waarin mutaties in het gen voor myoglobine bij mensen zijn beschreven waaruit blijkt dat dit zo is.

4.2 Hematocrietwaarde

De hematocrietwaarde is de verhouding van het volume van de erythrocyten tot het totale bloedvolume. Voor mannen ligt deze waarde tussen de 0,45 en 0,55 liter per liter bloed en bij vrouwen tussen de 0,40 en 0,50 liter²⁸. Hieruit zou kunnen worden opgemaakt dat een hogere hematocrietwaarde geassocieerd is met een beter zuurstoftransport. Het bloed bevat dan namelijk meer erythrocyten en zou op deze manier meer zuurstof kunnen transporteren. Dit hoeft alleen niet zo te zijn, aangezien het ook met de affiniteit van hemoglobine in de erythrocyten te maken heeft. De Ethiopiër Haile Gebreselassie is een atleet die de afgelopen jaren mee aan de top heeft gelopen. In 2008 liep hij in Berlijn een wereldrecord met een tijd van 2.03.59 uur²⁹. Gebreselassie heeft een hematocriet die vrij laag is, namelijk 0,43³⁰. Uit het voorbeeld van Gebreselassie blijkt dat je als atleet met een vrij lage hematocrietwaarde toch bij de top kunt horen. Van Gebreselassie is bekend dat hij zijn trainingen allemaal in Ethiopië doet, wat een positieve uitwerking zou kunnen hebben op het zuurstoftransport.

4.2.1 EPO-gen

Een eiwit wat een belangrijke functie heeft in het transport van zuurstof is het Erythropoïetine eiwit, ook wel EPO genoemd. Het Erythropoïetine-gen codeert voor het Erythropoïetine eiwit. EPO is een humaan hormoon, dat normaal gesproken in de nieren wordt geproduceerd. Het zorgt voor de aanmaak van erythrocyten en de synthese van hemoglobine in het beenmerg. Beide zijn verantwoordelijk voor een goed transport van zuurstof. Het Erythropoïetine hormoon zorgt niet alleen voor een stijging van het aantal erythrocyten, maar ook voor een stijging van het totale bloedvolume. Dit is voordelig aangezien bloedplasma vooral uit water bestaat waardoor de concentratie water automatisch toeneemt bij een toename van het bloedvolume. Hierdoor is de waterreserve tijdens een marathon groter. Tegenwoordig staat EPO op de dopinglijst en daarom mag het niet meer ingespoten worden, maar er zijn mensen bekend die een natuurlijke mutatie hebben in dit gen³⁰. Een voorbeeld van zo'n persoon is de Finse Langlaufer, Eero Mäntyranta, die zeven medailles op de winter spelen won. In iedere wedstrijd liet hij de overige deelnemers ver achter zich. Dit kwam doordat de Fin een enorm goed uithoudingsvermogen had. Dit uithoudingsvermogen kreeg Mäntyranta doordat hij en zijn familie een vorm van primaire familiäre congenitale polycythemie hebben. Deze 'aandoening' ontstaat door een mutatie in het gen dat codeert voor de receptor voor EPO (EPOR-gen)³¹.

Mäntyranta en zijn familieleden hebben een puntmutatie in het gen waardoor een codon is veranderd in een stopcodon en er een getrunceerd eiwit ontstaat. De mutatie leidt tot een verhoogde hematocrietwaarde. Aangezien deze mutatie leidt tot een verhoging van het aantal erythrocyten, kan er meer zuurstof getransporteerd worden bij deze personen. De mutatie resulteert in een toename van vijftig procent in zuurstoftransport in het bloed. Hierdoor kreeg de Fin pas na veel langere tijd last van vermoeidheid. Mäntyranta had dus een groot voordeel ten opzichte van de andere atleten in het veld.

4.2.2 Hoogtestage/druktent

Voor atleten is het voordelig om een hoge concentratie hemoglobine te hebben en een groot aantal erythrocyten. Hierdoor kan er genoeg zuurstof worden getransporteerd in het lichaam tijdens zware inspanning. Met behulp van hoogtestage is dit mogelijk doordat de productie van EPO wordt gestimuleerd in deze omstandigheden.

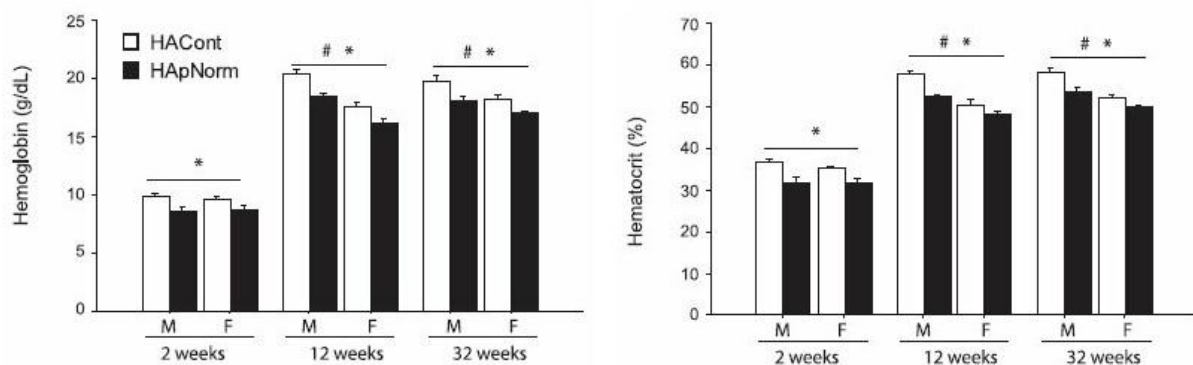
Op zeeniveau bedraagt de luchtdruk 760 mm Hg en op 1000 meter hoogte is de luchtdruk slechts 680 mm Hg. Door de verminderde luchtdruk op grote hoogte kan er minder zuurstof worden opgenomen in de longen. Dit komt door de gedaalde partiële zuurstofdruk. Het lichaam is er daarom bij gebaat om zich aan de grote hoogte aan te passen. Zo moeten er aanpassingen gedaan worden waardoor de opname, het transport en het gebruik van zuurstof efficiënter kunnen gaan verlopen in het lichaam. Er zijn effecten die al heel snel optreden en andere effecten treden pas na een paar dagen of weken op³².

Allereerst gaat de ademhalingsfrequentie en de hartfrequentie omhoog en daarnaast zal de samenstelling van het bloed veranderen, waaronder een verhoging van de hematocrietwaarde. Verhoging van hemoglobine is positief voor de maximale zuurstofopname. Verhoging van het aantal erythrocyten is positief voor het transport van zuurstof. Daarnaast vindt er een verhoging plaats van het aantal mitochondriën en de enzymen die verantwoordelijk zijn voor de aerobe processen. Er treden ook aanpassingen op in de spieren, al gebeurt dit pas na lang verblijf op grote hoogte. Zo neemt het aantal capillairen toe in de spieren, waardoor deze beter doorvoed worden van bloed en dus van zuurstof. Hierdoor zal er onder andere minder snel spierversmoeidheid optreden. Daarnaast wordt de hartspier sterker, aangezien deze harder moet werken op grote hoogte.

Wanneer marathonlopers eerst lange tijd op grote hoogte hebben getraind en vervolgens terug komen naar zeeniveau hebben de atleten een aanzienlijk voordeel tijdens wedstrijden. De luchtdruk op zeeniveau is een stuk lager, waardoor de partiële zuurstofdruk een stuk hoger is en het een stuk makkelijker is voor het lichaam om zuurstof op te nemen. Met de aanpassingen die het lichaam heeft ondergaan op grote hoogte kan zuurstof heel erg efficiënt worden opgenomen en is het transport ook beter geworden. Miriam van Reijen, bewegingswetenschapper en marathonloopster geeft in haar interview aan dat de tijden die ze in Kenia loopt veel sneller zijn dan die in Nederland. Voordat zij naar Kenia verhuisde heeft ze in Nederland een aantal VO_2 max testen gedaan. Deze testen heeft ze vervolgens ook gedaan naarmate ze een tijd in Kenia had

getraind en daaruit bleek dat haar efficiëntie, kracht en VO_2 max verbeterd waren. Dit is volgens haar te danken aan het verschil in hoogte in Kenia en het heuvellandschap waarin zij daar traint. Hoogtestage kan nagebootst worden in een druktent of een lage zuurstof kamer. In een druktent wordt kunstmatig de situatie op grote hoogte nagebootst, waardoor dezelfde veranderingen optreden als bij een hoogtestage.

Er is een onderzoek gedaan naar de effecten van de ontwikkeling van ratten die geboren worden op grote hoogte³³. De ratten werden in twee groepen verdeeld en werden vanaf hun geboorte tot vijftien dagen later ondergebracht op een bepaalde plek. De ene helft van de ratten brachten ze onder in Bolivia, wat 3600 meter boven het zeeniveau gelegen is. De andere helft van de ratten werd ondergebracht in laagtekamers. Dit zijn kamers die verrijkt zijn met zuurstof, waardoor de omgeving gelijk is aan die van een plek op zeeniveau. De onderzoekers volgden de ratten de rest van hun leven om te kijken of de omgevingsfactoren in de eerste dagen na de geboorte van de ratten, invloed zouden hebben op de ontwikkeling van de ratten. Er wordt namelijk gesuggereerd dat omgevingsfactoren veranderingen zouden kunnen aanbrengen in de genexpressie waardoor dit invloed kan hebben op de rest van het leven. Uit het onderzoek kwam een significant verschil tussen de ratten op hoogte en de ratten op zeeniveau, zie figuur 5.



Figuur 5. In de linker tabel is de hemoglobine concentratie vergeleken van de ratten die in Bolivia werden ondergebracht (HACont) en de ratten die in de laagtekamer werden ondergebracht (HApNorm). Het eerste tijdstip is na twee weken, dit is net na het einde van het onderzoek. Het tweede tijdstip is na 12 weken en het derde tijdstip is na 32 weken, dit is ongeveer de middelbare leeftijd van ratten. De ratten die op grote hoogte zijn opgegroeid hebben duidelijk een hogere hemoglobine concentratie. In de rechter tabel is de hematocrietwaarde vergeleken tussen beide groepen ratten. Het percentage hematocriet is een stuk hoger bij de ratten die op grote hoogte zijn opgegroeid, zelfs na 32 weken is er nog een verschil te zien³³.

Uit de resultaten na 50 dagen, twaalf weken en na 32 weken bleek dat zowel het hemoglobine gehalte als de hematocrietwaarde hoger was bij de ratten die op waren gegroeid op grote hoogte. Daarnaast hadden deze ratten een groter hart en verbruikten zij minder zuurstof bij inspanning dan de ratten die op zeeniveau waren geboren. Het onderzoek toonde aan dat omgevingsfactoren op jonge leeftijd al van grote invloed kunnen zijn. De veranderingen die zijn opgetreden zijn voordelig voor duursporters. Uit de resultaten van dit onderzoek zou gesuggereerd kunnen worden dat atleten die in hogere gebieden zijn geboren een voordeel hebben ten opzichte van atleten die op zeeniveau zijn geboren. Helaas is er ook een

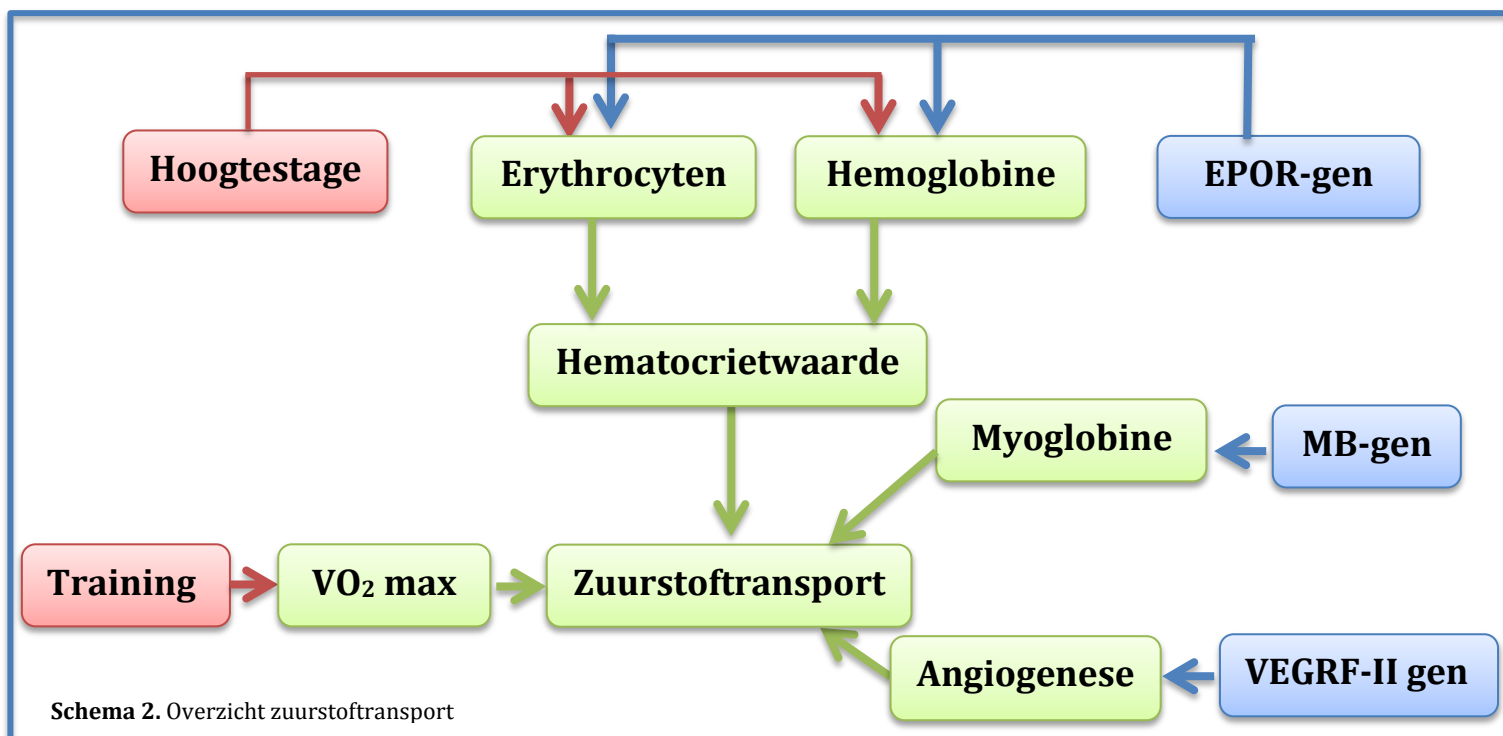
kanttekening aan dit onderzoek. Na 200 dagen was tien procent van de ratten, die op grote hoogte waren geboren, overleden. Bij de laagteratten was dit percentage vijf procent. Na 600 dagen leefde er van de hoogteratten nog maar 45 procent, terwijl er van de ratten op zeeniveau nog 85 procent in leven was. Ofwel, hoogtestage op vroege leeftijd, leidt dan misschien wel tot een verbeterde prestatie op de marathon, maar het zou ook kunnen leiden tot een eerdere dood.

4.3 Bloedvaten

De bloedvaten in de spieren zijn essentieel voor het transport van zuurstof. Er zijn genen bekend, waaronder het VEGFR-II gen, die zorgen voor de aanmaak van nieuwe bloedvaatjes³⁴. Wanneer dit gen actief is bij sporters, zou dit misschien voor een groter aantal bloedvaatjes kunnen zorgen waardoor transport van zuurstof beter kan plaatsvinden in de spieren.

4.4 Overzicht zuurstoftransport marathonloper

Bij het lopen van een marathon is het belangrijk dat zuurstof zo snel mogelijk door het lichaam getransporteerd wordt, omdat de spieren continu van zuurstof moeten worden voorzien. Hoogtestage heeft een positieve invloed op de opname en het transport van zuurstof. Hemoglobine en myoglobine zijn moleculen die in staat zijn om zuurstof te binden. Met een mutatie in het MB-gen zou de concentratie myoglobine verhoogd kunnen zijn waardoor er meer zuurstof kan worden gebonden in de spieren, alleen is hier geen bewijs voor gevonden in de literatuur. Het EPO-gen zorgt voor aanmaak van erythrocyten en hemoglobine en heeft invloed op de hematocrietwaarde. De Finse langlaufer had een mutatie in het EPOR-gen waardoor hij een verhoogde hematocriet had en daardoor een enorm goed uithoudingsvermogen. Een mutatie in het VEGFR-II gen zou voor een toename van de capillairen rondom de spiervezels kunnen leiden, alleen is hier geen bewijs voor gevonden in de literatuur. Training kan daarnaast voor een verhoging van de VO_2 max zorgen. Een verhoogde hematocrietwaarde door genetische aanleg, hoogtestage en training kunnen verantwoordelijk zijn voor een goede regulatie van het zuurstoftransport. Een goed geregelde zuurstofhuishouding is een van de factoren die bijdraagt aan een goede prestatie tijdens het lopen van een marathon. In het model hieronder zijn ook de mogelijke hypothesen over sommige genen, zoals het MB-gen, opgenomen.

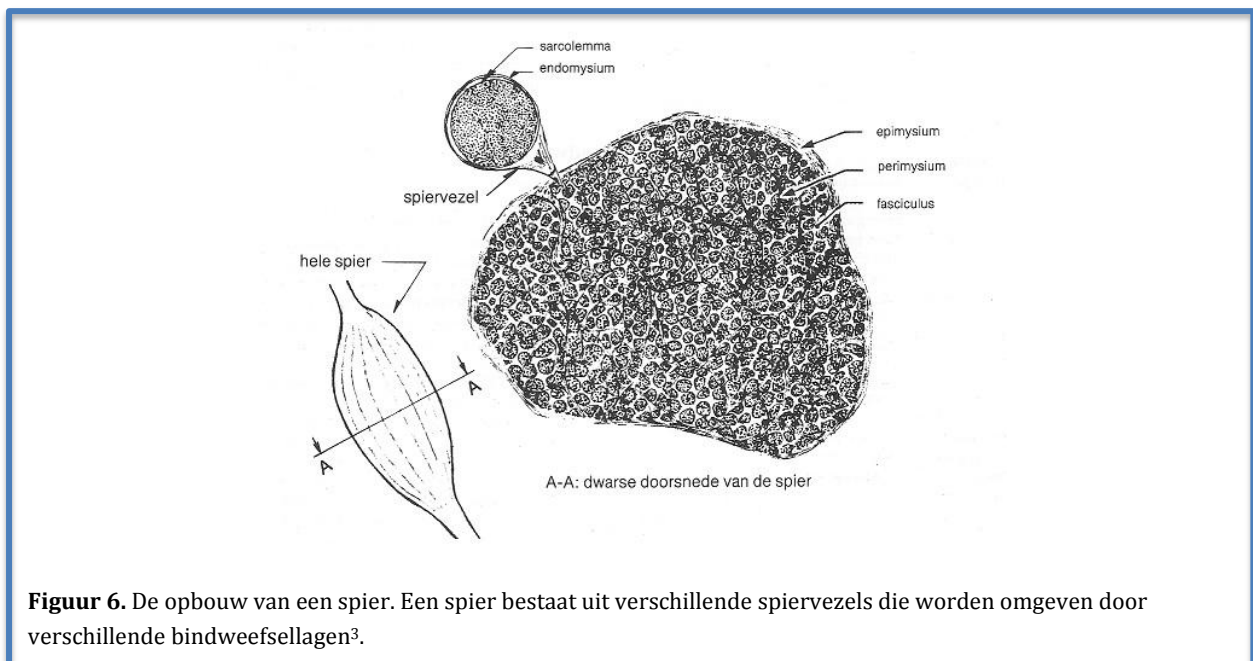


5. Spieren

Voor de beenspieren van lopers leveren een grote arbeid tijdens het lopen van een marathon, maar de rompspieren zijn daarnaast ook van belang voor een goede loopeconomie. De spieren die essentieel zijn bij het lopen van een marathon zijn vooral skeletspieren en daarom worden deze alleen besproken in dit hoofdstuk. De spiervezels van skeletspieren bevatten een patroon van lichte en donkere strepen en worden daarom ook wel de dwarsgestreepte spieren genoemd.

5.1 Bouw van de spieren

Een skeletspier is opgebouwd uit een groot aantal vezels die bij elkaar worden gehouden door een laag bindweefsel, zie figuur 6. Om iedere vezel ligt een spiervezelmembraan, het sarcolemma. Het bindweefsel wat rondom elke spiervezel ligt wordt het endomysium genoemd. De spiervezels worden gegroepeerd tot kleine bundels, fasciculi. Deze bundels worden bij elkaar gehouden door bindweefsel dat het perimysium wordt genoemd. De gehele spier wordt uiteindelijk omgeven door een bindweefsellaag genaamd het epimysium³.



Figuur 6. De opbouw van een spier. Een spier bestaat uit verschillende spiervezels die worden omgeven door verschillende bindweefsellaagen³.

De bindweefsellaagen in de spier versmelten steeds meer met elkaar en gaan geleidelijk over in het dichte bindweefsel van pezen. De pezen zorgen voor aanhechting van de spier aan het botweefsel. De kracht die door spieren wordt ontwikkeld, wordt via de pezen aan het botweefsel overgedragen. Hierdoor worden de spiervezels nauwelijks beschadigd. De pezen bevatten stug bindweefsel en veel niet-levende structuren waardoor de pezen goed bestand zijn tegen de grote kracht die geleverd wordt door de spieren.

Iedere spiervezel bestaat uit een aantal myofibrillen. Deze myofibrillen bevatten lichte en donkere banden. De lichte banden worden de I-banden genoemd en de donkere banden de A-banden. In het midden van iedere I-band is een donkere lijn te zien, de Z-lijn. De banden worden zo genoemd vanwege hun effect op de snelheid van een lichtgolf wanneer deze door een myofibril heen dringt. Bij een lichtgolf in de A-band zal de snelheid van de golf niet in alle richtingen even groot zijn; de materie is anisotroop. Bij een I-band zal de snelheid van de

lichtgolf wel in alle richtingen hetzelfde zijn; de materie is isotroop. De I- en A-banden bestaan uit twee verschillende eiwitfilamenten, actine en myosine. Deze eiwitten zijn belangrijk voor de spiercontractie. Het actine schuift bij contractie langs het myosine. Bij deze beweging verandert de lengte van beide eiwitten niet. De lengte van de A-band blijft constant, terwijl de I-band korter wordt en de H-zone op een gegeven moment zelfs verdwijnt. Door de verkorting van de A-band en verdwijning van de H-zone verkort de spier, ofwel hij gaat in contractie. Contractie van de spier kan pas plaatsvinden in aanwezigheid van calciumionen en ATP³.

5.2 Doorbloeding spieren

Spieren worden goed doorbloedt, aangezien er veel zuurstof nodig is bij de contractie van de spieren. Arteriën en venen komen de spier binnen via het bindweefsel. Bij binnenkomst vertakken de arteriën zich in capillairen en gaan via de venulen weer over in venen. Vervolgens verlaten de venen de spier via het bindweefsel. Door het complexe netwerk van kleine bloedvaatjes worden alle spiervezels voorzien van zuurstofrijk bloed en kunnen afvalproducten zoals CO₂ en lactaat goed afgevoerd worden. Bij ongetrainde mensen met een zittend beroep wordt elke spiervezel omringd door gemiddeld drie tot vier capillairen. Bij mannelijke en vrouwelijke sportbeoefenaars wordt elke spiervezel door vijf tot zeven capillairen omringd^{35,36}. Wanneer er veel inspanning geleverd moet worden, moet er veel bloed richting de spieren getransporteerd worden en dus is het voordeliger om meer capillairen rond de spiervezels te hebben. Zo worden de spieren optimaal voorzien van zuurstofrijk bloed en zullen ze minder snel vermoeid raken.

De hoeveelheid bloed die de spier nodig heeft is afhankelijk van de arbeid die de spier moet verrichten. Tijdens enorme inspanning kan de behoefte aan bloed door de spieren met een factor honderd toenemen in vergelijking met een spier in rust. Een andere factor die meespeelt in de toevoer van bloed naar de spieren is het contraheren en relaxeren van de bloedvaten. Door contractie en relaxatie van de bloedvaten ontstaat er een soort pompende werking waardoor de bloedstroom naar het hart wordt verhoogd. Zo worden de bloedvaten naar de minder actieve delen in het lichaam vernauwd, zoals de bloedvaten richting de darmen, de nieren en de huid. Andere bloedvaten worden juist verwijdt, zoals de bloedvaten richting de actieve spieren en het hart. Tijdens zware inspanning wordt er met behulp van het vernauwen en verwijden van sommige bloedvaten voor gezorgd dat het bloed zo efficiënt mogelijk wordt gebruikt. Het bloed is vooral nodig in de spieren en een groot deel wordt daarom ook richting de spieren getransporteerd. De meeste organen in het lichaam worden niet gebruikt tijdens het lopen van een marathon en krijgen daarom de minimum hoeveelheid aan bloed die nodig is.

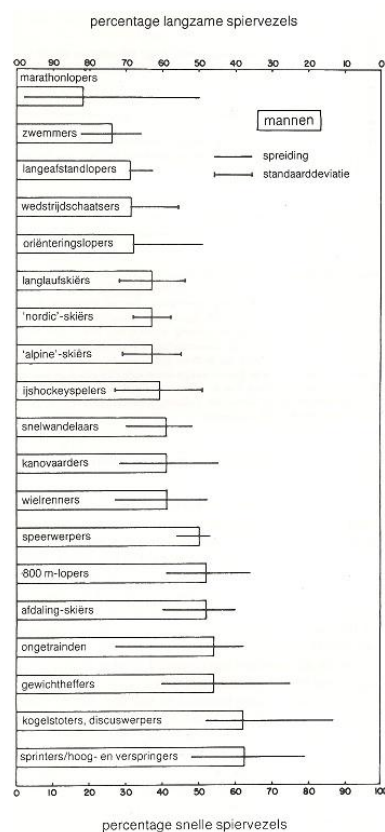
5.3 Typen spiervezels

In skeletspieren zijn verschillende typen spiervezels te onderscheiden. Deze typen hebben allemaal hun eigen karakteristieken en daarmee hun eigen functie³.

Type I spiervezels zijn rood van kleur en worden tonisch genoemd. Deze type vezels zijn verantwoordelijk voor de aerobe inspanningen. Ze bevatten veel mitochondriën en genereren energie met behulp van het oxideren van zuurstof, wat veel tijd kost. Vandaar dat de type I vezels ook wel de langzame vezels worden genoemd. Deze vezels zijn verantwoordelijk voor de lange duur inspanningen, zoals de marathon.

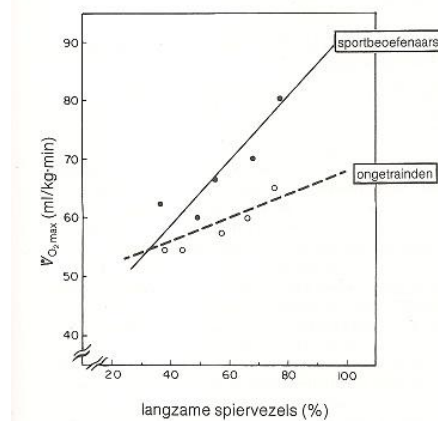
Type II zijn witte spiervezels en worden fasisch genoemd. Het zijn snelle vezels die nog verder kunnen worden onderverdeeld in een type a, b en c. Type II spiervezels zijn verantwoordelijk voor korte, krachtige en anaerobe inspanningen, zoals een sprint.

Om te bepalen welke spiervezels aanwezig zijn in een skeletspier is een biopt van het spierweefsel nodig. Dit biopt kan verkregen worden met een naaldbiopsie. In het verkregen stukje weefsel wordt gezocht naar de aan- of afwezigheid van verschillende enzymen die betrokken zijn bij de aerobe en/of anaerobe afbraakreacties. De bepaling van de enzymen gaat met behulp van chemische kleuringstechnieken. Uit het preparaat kan vervolgens bepaald worden of het snelle of langzame vezels zijn. In de spier liggen snelle en langzame vezels door elkaar heen. De ratio van de verschillende typen bepaalt of de skeletspier beter is in de sprint of in de marathon. In het algemeen geldt dat de meeste skeletspieren bestaan uit vijftig procent langzame en vijftig procent snelle spiervezels. Er zijn spieren waar een andere ratio wordt gevonden. Zo bevat de musculus soleus meer langzame vezels dan de andere beenspieren en de musculus triceps bevat juist vaak meer snelle vezels dan de andere armspieren. De verhouding van de typen spiervezels is bepaald in verschillende groepen mannelijke en vrouwelijke sporters, zie figuur 7. In de figuur is duidelijk te zien dat de sporters die een groot uithoudingsvermogen hebben, een groter percentage langzame spiervezels hebben. Bij de sporters die aan krachttraining doen is een hoger percentage aan snelle vezels aanwezig³.



Figuur 7. De verdeling van snelle en langzame spiervezels bij verschillende mannelijke sportbeoefenaars. Over het algemeen kan er uit deze figuur geconcludeerd worden dat de duursporters een groter percentage aan langzame vezels hebben, terwijl de sporters die aan krachttraining doen gemiddeld een groter percentage aan snelle vezels hebben³.

In figuur 8 is het verband weergegeven tussen het maximale aerobe vermogen, de VO_2 max van getrainde mannelijke sportbeoefenaars en van ongetrainde mannen en het percentage aan langzame vezels in hun spieren. Uit figuur 8 blijkt dat de VO_2 max groter wordt naarmate het percentage langzame vezels toeneemt. Dit zou te verklaren kunnen zijn aan de hand van de eigenschappen van de type spiervezels, aangezien type II vezels verantwoordelijk zijn voor de anaerobe reacties en dus geen effect zullen hebben op de VO_2 max. De type I spiervezels zijn juist verantwoordelijk voor de aerobe reacties en hebben dus ook effect op de zuurstofopname en zo op de VO_2 max.



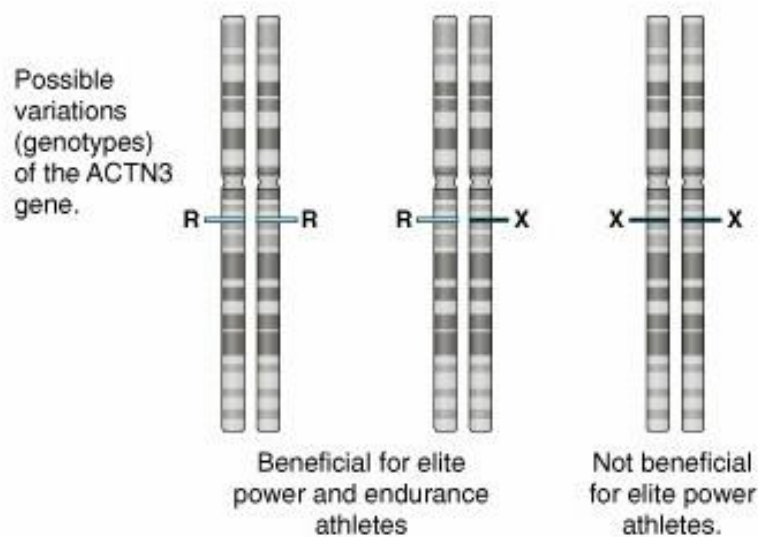
Figuur 8. Het verband tussen de VO_2 max en het percentage langzame vezels in de spieren van getrainde mannelijke sportbeoefenaars en van ongetrainde mannen. Voor beide groepen geldt dat de VO_2 max groter wordt naarmate het percentage langzame vezels toeneemt³⁷.

De vraag is natuurlijk of het mogelijk is om met behulp van training de verhouding van het type spiervezel in de spier te veranderen. Tot nu toe is dit nog niet bewezen. In een Zweeds onderzoek hebben ze een poging proberen te wagen³⁸. In dit onderzoek werd de musculus vastus lateralis bestudeerd van vier langeafstandslopers. Zo dacht men dat met behulp van anaerobe training de langzame vezels zich om zouden kunnen zetten in snelle vezels en bij aerobe training het tegenovergestelde zou gebeuren. De meeste onderzoeksresultaten leidden alleen tot de optie van gekruiste innervatie. Hierbij wordt de motorische zenuwvezel, die oorspronkelijk de ene spiervezel innerveerde, verplaatst naar een andere spiervezel waardoor die nu wordt geïnnerveerd.

6. Spieren marathonloper

6.1 Verhouding spiervezels

In paragraaf 2.3.1 is gesproken over een bepaalde variant van het PPAR δ -gen wat voor aanleg voor duursporten zorgt. Dit komt onder andere doordat dit gen voor meer type I spiervezels zorgt. Een ander gen wat ook een rol speelt bij de ratio van de type spiervezels is het ACTN3-gen, wat gelegen is op chromosoom 11. Iedereen heeft twee kopieën van het ACTN3-gen. De ene helft is afkomstig van de vader en de andere helft van de moeder. Deze kopieën kunnen in verschillende varianten voorkomen, een R- en een X-variant, figuur 9.



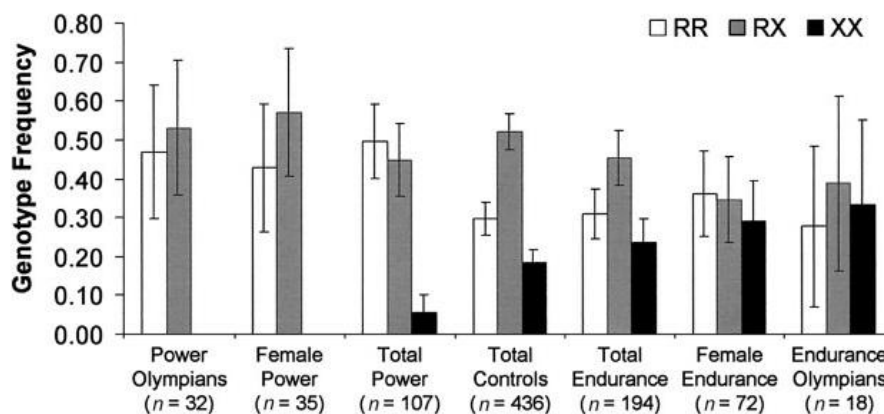
Figuur 9. Op chromosoom 11 ligt het ACTN3-gen. Dit gen is mede verantwoordelijk voor de verhouding van spiervezels. Er zijn twee varianten van dit gen mogelijk. De R-variant hangt samen met type II spiervezels en de X-variant hangt samen met type I spiervezels³⁹.

6.1.1 Gen varianten

De R-variant van het ACTN3-gen zorgt voor de productie van het eiwit alpha-actinine-3. Dit eiwit heeft een functie bij het snel en krachtig contraheren van een spier, ideaal bij het maken van een sprint. Wanneer de X-variant van het ACTN3-gen aanwezig is zorgt het juist voor geen productie van eiwitten die voor snelle spiervezels zorgen, maar leidt tot de opbouw van langzame spiervezels. Met de twee varianten kunnen er in totaal drie verschillende typen van het ACTN3-gen ontstaan: XX, RR en RX.

In een onderzoek naar atleten in Australië kwam de bevinding dat de XX-type geassocieerd wordt met een natuurlijke aanleg voor langdurige inspanningen, doordat er na verhouding meer type I spiervezels aanwezig waren³⁵. Het RR-type wordt juist geassocieerd met type II spiervezels en dus natuurlijke aanleg voor kortdurende en krachtige inspanningen, zoals een sprint. Het RX-type wordt geassocieerd met een 50/50 verhouding tussen type I en II spiervezels en heeft als gevolg aanleg voor zowel langdurige inspanningen als de sprint.

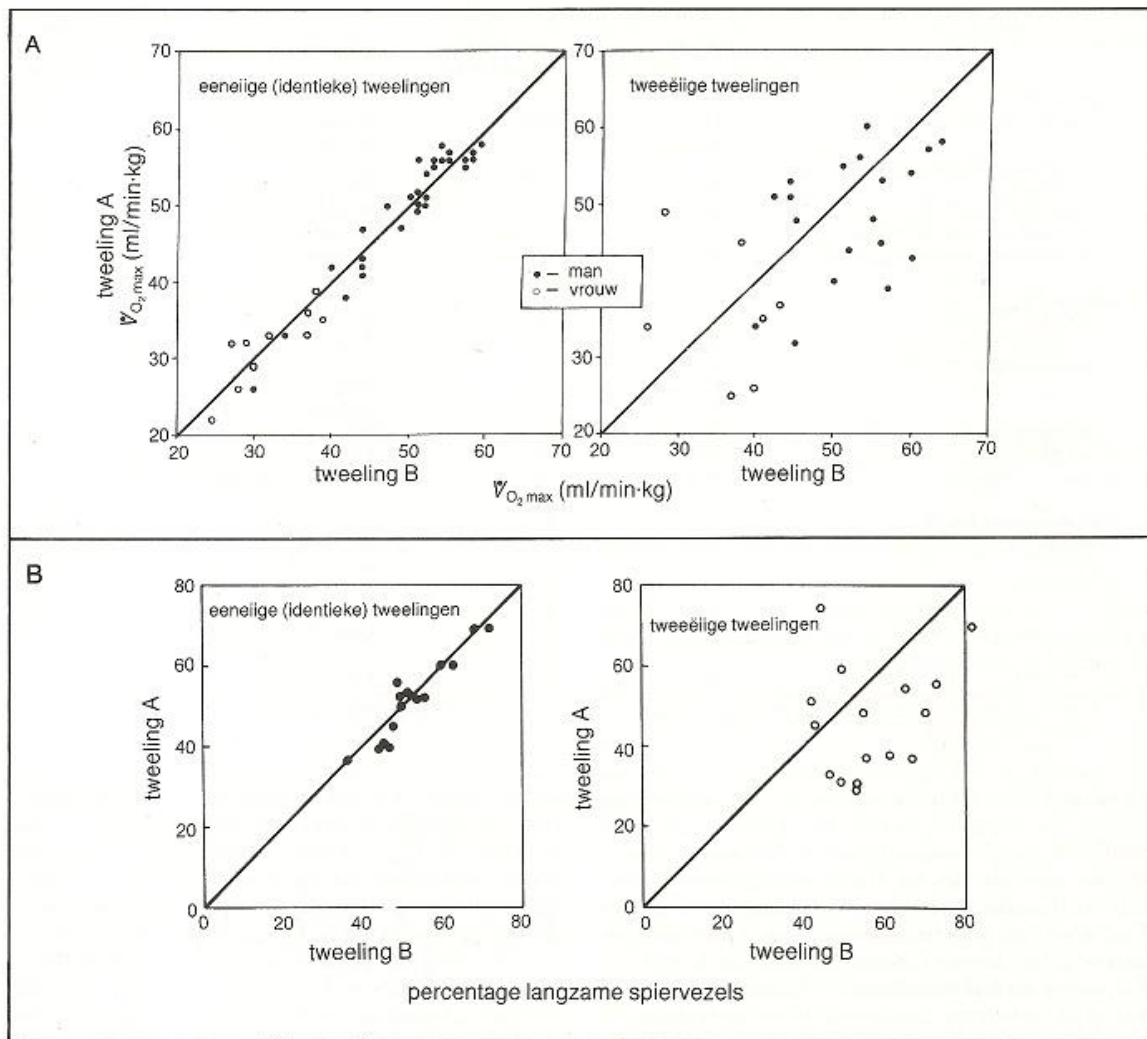
In een studie heeft men naar de ACTN3-gen varianten gekeken van 429 blanke atleten, inclusief 50 Olympiërs, figuur 10⁴⁰. Hieruit bleek dat vijftig procent van de 107 atleten die gespecialiseerd waren in de sprint, twee kopieën van de R-variant hadden. Daarnaast werd er bij de vrouwelijke sprinters geen enkele vrouw gevonden met twee X-varianten. Alle mannelijke Olympische sprinters hadden ten minste één kopie van de R-variant. Vijfentwintig procent van de atleten die aan duursporten deden hadden twee kopieën van de X-variant. Dit was een iets hoger percentage dan bij de controlegroep, aangezien daar bij achttien procent twee kopieën van de X-variant werd gevonden. Uit deze resultaten blijkt dat de genetische aanleg van spiervezels door varianten van het ACTN3-gen voor een deel bepalend zijn voor welk type sport een atleet aanleg heeft. Aangezien er ook genoeg goede sprinters zijn gevonden zonder kopie van de R-variant, is het duidelijk dat genetische aanleg niet alleen een rol speelt in welke sport een atleet kan uitblinken. Omgevingsfactoren zoals training zullen ook een belangrijke rol spelen.



Figuur 10. Genotype van het ACTN3-gen van verschillende groepen sprinters en duursporters vergeleken met het genotype van gezonde controles. In dit figuur is een duidelijk verschil te zien tussen de genvarianten en het type sport. De R-variant van het gen is vooral gevonden bij de sprinters en de X-variant vooral bij duursporters⁴⁰.

6.1.2 Relatie spiervezels en VO₂ max

De ratio van de twee typen vezels en de grootte van de VO₂ max is voor een groot gedeelte genetisch bepaald. Daarnaast speelt training ook een belangrijke rol op de VO₂ max. In figuur 8 in paragraaf 5.3 is te zien dat sportbeoefenaars een grotere VO₂ max hebben dan ongetrainde mensen bij een percentage van langzame vezels boven de veertig procent. Met behulp van tweelingonderzoek heeft men kunnen inschatten dat de VO₂ max bij mannen voor 93,4 procent genetisch bepaald is en voor 95,9 procent bij mannen en vrouwen samen. Dit is gebaseerd op de verschillen in samenhang tussen de VO₂ max waarden van de ene helft van de tweelingen en die van de andere helft. Hierbij was het ene kind een sporter en het andere kind ongetraind en dit kind leidde een overwegend zittend bestaan. De VO₂ max van de eenzijdige, identieke, tweelingen verschilden nauwelijks. De VO₂ max van de tweezijdige tweelingen daarentegen verschilden veel meer^{41, 42}.



Figuur 11. A. De $\dot{V}O_2$ max is voor een groot gedeelte genetisch bepaald. De waarden van de $\dot{V}O_2$ max van de eeneiige tweelingen komt veel meer overeen dan bij de twee-eiige tweelingen. B. De verhouding tussen de type spiervezels is ook voor een groot gedeelte genetisch bepaald, aangezien de gevonden waarden bij de eeneiige tweelingen bijna allemaal op één lijn terecht komen, terwijl de waarden bij de twee-eiige tweelingen veel meer verspreid zijn³.

Dit onderzoek heeft men ook uitgevoerd waarbij men gekeken heeft naar de verhouding tussen de langzame en snelle vezels in de skeletspieren. Er geldt hierbij precies hetzelfde als bij de $\dot{V}O_2$ max. Er is een grotere spreiding te zien bij de twee-eiige tweelingen dan bij de eeneiige tweelingen. De onderlinge verhouding tussen langzame en snelle vezels is bij mannen voor 99,5 procent en bij vrouwen voor 92,2 procent genetisch bepaald⁴³.

Uit de resultaten van bovengenoemde onderzoeken zou een nieuw gezegde gevormd kunnen worden: 'langeafstandslopers worden geboren, niet gemaakt'. De $\dot{V}O_2$ max wordt namelijk voor een heel groot gedeelte genetisch bepaald en dit geldt ook voor de onderlinge verhouding tussen langzame en snelle spiervezels. Marathonlopers zullen een groter percentage aan langzame spiervezels in hun skeletspieren hebben dan sprinters en ze zullen een hogere $\dot{V}O_2$ max hebben.

6.1.3 Sporttesten

Tegenwoordig zijn er testen op de markt verkrijgbaar waarbij wordt gekeken welke variant een persoon van het ACTN3-gen heeft. De mensen achter deze testen beweren dat met behulp van de test bepaald kan worden of een persoon meer aanleg heeft voor duursporten of voor de sprint. Helaas kan dit alleen niet uit zo'n test alleen bepaald worden. Er spelen nog veel meer factoren een rol, zoals bijvoorbeeld de VO_2 max, zoals in de vorige paragrafen al uitgelegd is. Bij zo'n test wordt er een duidelijk onderscheid gemaakt tussen sprinten en langdurige inspanningen, maar het zou ook zo kunnen zijn dat een persoon in beide sporten goed is, maar dat door training en techniek de top in één van de type sporten kan worden behaald.

6.2 Krachtige spieren

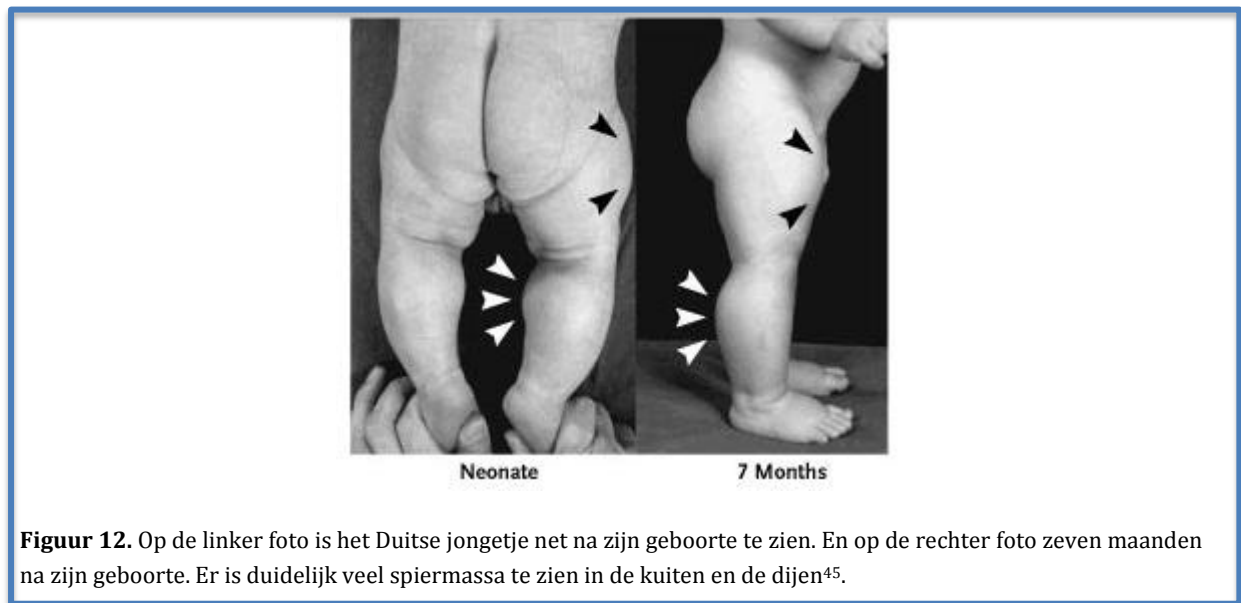
Kracht is vooral belangrijk voor sprinters en niet voor marathonlopers. Kracht kan mogelijk wel een kleine rol spelen bij het lopen van marathons. Als marathonloper wil je niet volledig gespieerd aan de start verschijnen, omdat spieren voor veel massa zorgen en je dit als loper niet met je wil meetillen. Een loper moet wel spieren hebben die krachtig genoeg zijn om de inspanning aan te kunnen.

6.2.1 Myostatine

Myostatine, ook wel bekend als groei differentiatie factor 8 (GDF-8) is een groeifactor die een remmend effect heeft op de spierontwikkeling. Het eiwit ligt gecodeerd in het MSTN -gen⁴⁴. Het eiwit wordt geproduceerd in de skeletspieren en bindt aan activine type II receptoren en kan hierdoor zijn remmende werking uitvoeren op de spiergroei. Deze remmende werking is nodig om de spiergroei te controleren.

Een mutatie in dit gen kan leiden tot deficiëntie van myostatine en kan resulteren in enorme spiergroei. Hier zijn verschillende voorbeelden van bekend. Zo zijn er koeien met een mutatie in het MSTN-gen waardoor zij enorm gespierde billen hebben, ook wel het dikbil-fenotype genoemd. Bij schapen is een soortgelijke mutatie gevonden, *callipyge*, wat ook leidt tot een gespierde bilpartij. Deze mutatie is ook bij honden gevonden. Wanneer er een mutatie in beide kopieën heeft plaatsgevonden is er enorme spiergroei te zien. Bij een mutatie in één van de twee kopieën is er ook extra spiergroei te zien, maar in mindere mate dan wanneer er in beide kopieën mutaties zijn.

In 2004 werd er in Duitsland een jongetje geboren met mutaties in beide kopieën van het MSTN-gen⁴⁵. Zijn moeder was een voormalig sprintster en had een mutatie in één van de kopieën en van het DNA van de vader is niets bekend. Dit Duitse jongetje was bij zijn geboorte al veel gespierder dan normale kinderen, figuur 12. In 2005 werd ook een jongetje geboren met abnormale spiergroei. Dit keer alleen in Amerika. Eerst dachten onderzoekers ook aan een myostatine deficiëntie, maar bij nader onderzoek bleek dit niet zo te zijn. Niet het myostatine zelf, maar de myostatine receptoren reageerden niet goed op het myostatine, waardoor de spiergroei niet gecontroleerd werd. Bij sommige bodybuilders is er ook sprake van een myostatine deficiëntie. Deze bodybuilders hoeven in vergelijking met andere sporters weinig te trainen om grote en krachtige spieren te krijgen.



Wanneer een marathonloper een mutatie zou hebben in het MSTN-gen zou dit niet bepaald voordelig zijn. Marathonlopers zijn vaak lang en hebben een slanke lichaamsbouw en zijn niet al te gespierd. Bij sprinters zou een mutatie in het myostatine wel voordelig kunnen zijn. Zo had de moeder van het Duitse jongetje, een sprinter, ook een mutatie in één van de kopieën van het gen. Het is dus van belang dat de spiergroei van marathonlopers gecontroleerd verloopt.

6.2.2 Groeihormonen

Groeihormonen, zorgen voor signalen voor groei in het lichaam. Zo kunnen ze ook voor de groei van spieren zorgen. Insuline groei factor I (IGF-I) is een voorbeeld van zo'n groeihormoon. IGF-I is als het ware de tegenpool van myostatine. Deze groeifactor stimuleert de groei van de spieren, terwijl myostatine de groei remt. Een mutatie in het IGF-I gen kan er voor zorgen dat er bijna geen spiergroei plaats vindt. In de literatuur zijn alleen geen voorbeelden van personen met zo'n mutatie gevonden. Een ander groeihormoon is testosteron. Dit mannelijke geslachtshormoon zorgt voor een bevordering van de spieropbouw. Dit hormoon is ook één van de redenen dat mannen in het algemeen sterker zijn dan vrouwen. Bodybuilders slikken vaak de synthetische variant van testosteron, ook wel anabole steroïden genoemd³⁰.

Af en toe komt de discussie over een geslachtstest weer terug over bepaalde atleten. Zoals bijvoorbeeld over Caster Semenya bij atletiek⁴⁶. Semenya heeft hele goede prestaties geleverd bij het WK in Berlijn, waardoor sommige mensen zijn gaan twijfelen aan haar geslacht. Daarnaast had zij een driemaal zo hoge concentratie van lichaamseigen testosteron in haar bloed vergeleken met een gemiddelde vrouw. Normaal gesproken hebben vrouwen twee X-chromosomen en mannen één X- en één Y-chromosoom. Soms is er alleen sprake van een erfelijke afwijking, zoals bijvoorbeeld het missen van het SRY-gen op het Y-chromosoom. Het SRY-gen is verantwoordelijk voor het produceren van mannelijke hormonen. Wanneer dit gen ontbreekt kan het embryo zich op een vrouwelijke manier gaan ontwikkelen, maar wanneer er op DNA-niveau wordt gekeken is er een X en een Y chromosoom te zien. In 1950 werd bij topsportster Foekje Dillema een Y-chromosoom aangetroffen na een DNA-test, terwijl ze zelf dacht dat ze een vrouw was⁴⁷. Aangezien vrouwen met een Y-chromosoom een betere prestatie

kunnen neerzetten dan vrouwen met twee X-chromosomen wordt er een geslachtstest gedaan bij atleten waarover twijfel heerst. Dit heeft onder andere met de hormoonhuishouding te maken.

6.3 Kuiten

Een onderzoeksgroep uit Denemarken, onder leiding van de Zweedse sportfysioloog professor Bengt Saltin, wilde het geheim achter de Keniaanse marathonlopers ontrafelen met behulp van het Kenia project⁴⁸. De onderzoekers hadden eerst een aantal hypothesen bedacht waarom de Kenianen zo goed kunnen presteren op de marathons. Al deze hypothesen heeft men stuk voor stuk onderzocht. In de onderzoeken werden Kenianen vergeleken met Denen of andere niet-Kenianen. Zo onderzocht men of Kenianen in hun jeugd veel meer liepen dan Denen, maar er bleek niet veel verschil te zijn. Daarnaast bleek er ook geen groot verschil te zijn in voeding. Het verschil in hoogte in Kenia maakte ook geen significant verschil, aangezien de Denen eenzelfde verandering kregen als de Kenianen wanneer zij op grootte hoogte trainen. En als laatste werd er ook geen significant verschil in het spierweefsel gevonden⁴⁹. Een tussenconclusie die de onderzoekers stelden was dat de Kenianen op de een of andere manier veel efficiënter kunnen lopen dan de Denen, aangezien hun VO_2 max ongeveer gelijk is⁵⁰. Er is dus een verschil in de manier waarop Kenianen lopen. De onderzoekers ontdekten dat de beenlengte tussen beide landen verschilt. Een Deens lichaam is gemiddeld vijf centimeter groter dan dat van Kenianen, maar Kenianen hebben gemiddeld twee centimeter langere benen. Bij verder onderzoek bleek de lengte van het been geen cruciale factor te zijn, maar de bouw van de kuiten.

6.3.1 Volume kuiten

Henrik Larsen, één van de onderzoekers, wist uit een eerder verricht onderzoek dat het zuurstofverbruik bij lopers toeneemt wanneer ze met gewichten om de enkels gaan trainen. Dat bracht Larsen op het idee om het volume van het been van een Keniaan te vergelijken met dat van een Deen. Hij onderzocht dit met een erg gemakkelijk onderzoek, zie figuur 13.

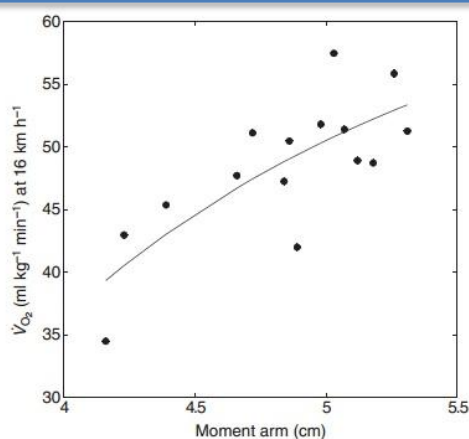


Figuur 13. Larsen vergelijkt het volume van de onderbenen van Kenianen met die van niet-Kenianen door ze in een bak met water te zetten. Door het verschil in stijging van het waterpeil kon Larsen bepalen wie de grootste onderbenen had⁵¹.

De conclusie uit het onderzoek was dat de onderbenen van de Kenianen verhoudingsgewijs langer en slanker zijn gebouwd dan die van niet-Kenianen⁵⁰. Door de bouw van de onderbenen kunnen Kenianen per afgelegde afstand minder zuurstof verbruiken dan mensen die van nature zwaardere onderbenen hebben. Ofwel de bouw van de benen van Kenianen zorgen voor minder energieverbruik. Larsen concludeerde dat het verschil in de bouw van de onderbenen niet te overbruggen is met training, maar de bouw van de onderbenen genetisch bepaald is. De conclusie van het hoofd van de onderzoeksgroep, professor Saltin is dan ook: “It’s all about the legs”.

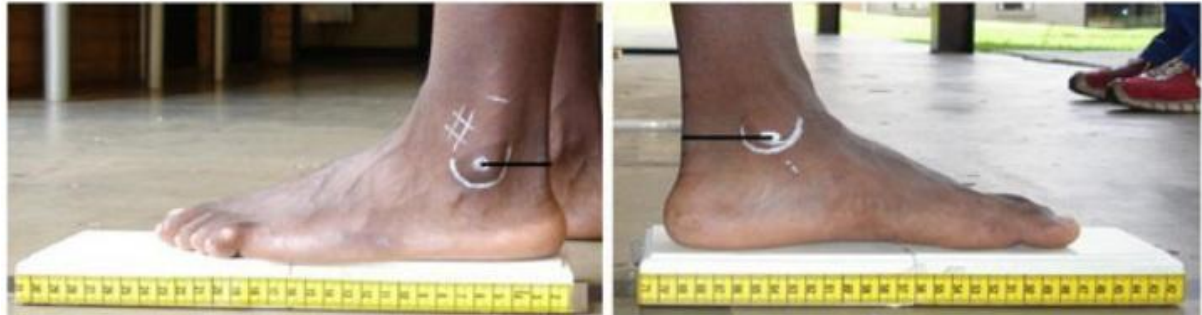
6.3.2 Hiellengte

Er zijn verschillende onderzoeken waar de bouw van de onderbenen wordt onderzocht in relatie tot de loopeconomie⁵². Onderzoekers van de Vrije Universiteit hebben ontdekt dat de lengte van de hiel verschilt tussen Kenianen en Europeanen⁵³. De Kenianen hebben een kortere hiellengte waardoor zij hun energie efficiënter kunnen gebruiken. De voet kan worden gezien als een hefboom die het onderste uiteinde van het kuitbeen draait. De achillespees die aan de bovenkant van de hiel vast zit werkt als een veer op de hefboom. De achillespees wordt korter bij het landen op de voet en bij de afzet wordt de pees weer langer. Tijdens de landings-fase wordt ‘veerenergie’ opgeslagen en die kan weer worden gebruikt bij de afzetfase. Er is voortdurend een opname en afgifte van veerenergie. De momentenwet, ofwel de kracht keer de arm aan de ene kant moet gelijk zijn aan de kracht keer de arm aan de andere kant van het draaipunt. Als de momentenwet van de hefboom wordt toegepast moet het moment van de voorvoet steeds gelijk zijn aan het moment van de enkel. Een kortere hiel betekent een grotere kracht op de achillespees bij hetzelfde moment van de voorvoet. De tijdelijk opgeslagen veerenergie in de achillespees is dan groter. Deze energie wordt gebruikt bij de afzetfase en is dus efficiënt in vergelijking met een langere hiellengte, waar deze veerenergie niet wordt verkregen en uit een andere energievoorraad moet komen. In het onderzoek zijn de momentarmen en het zuurstofverbruik van 15 zeer goed getrainde hardlopers gemeten, zie figuur 14.



Figuur 14. de relatie tussen de moment arm en het zuurstofverbruik. Iedere stip staat voor de gegevens van één atleet. Bij een kleine moment arm hoort een lager zuurstofverbruik, ofwel minder energieverbruik voor de atleet⁵⁴.

De hiellengte kan bepaald worden door de het gemiddelde te nemen van de afstand van de laterale en mediale malleoli naar de achillespees, zie figuur 15. Malleoli is het midden van het knobbeltje op de enkel.



Figuur 15. Aan de linker kant is de laterale zijde en aan de rechter kant de mediale zijde van een linkervoet te zien. Op de plek van de malleoli is een witte stip aangebracht. De hiellengte is weergegeven met een zwarte streep in de figuur⁵³.

Hardlopers met een kortere hiellengte verbruiken minder zuurstof om dezelfde afstand af te leggen met een snelheid van 16 km/uur doordat de korte hiel de veerenergie kan gebruiken tijdens de afzetzfase. Hoofdonderzoekster Melanie Scholz concludeert dat het experiment bewijst dat de afmeting van de hiel invloed heeft op de hardloopprestatie⁵³.

6.3.3 Achillespees

Naast een korte hiellengte blijkt een lange en dunne achillespees ook tot een goede loopeconomie te leiden⁵⁵. Bij de landing wordt de pees ingedrukt en wordt er energie opgeslagen en bij de afzet functioneert de pees als een soort veer en komt de opgeslagen energie van pas, wanneer de pees uitgerekt moet worden. De hypothese is dat hoe langer de pees is, hoe meer energie er bij de indrukking opgeslagen kan worden. Hoe meer energie de pees kan opslaan, hoe minder energie de hardloper zelf hoeft te vormen. Uit een Deens onderzoek kwam naar voren dat een tien procent kortere Achillespees zorgt voor een 6 procent verminderde loopeconomie. Een Achillespees die 1 procent langer is zorgt voor een 8 procent verbeterde loopeconomie. Een dunne pees zorgt ook voor een betere loopeconomie. Een 10 procent dikkere pees verminderde de loopeconomie met 4 procent, terwijl een 1 procent dunnere pees de loopeconomie met 3 procent verbetert.

De vraag is of de lengte van de achillespees genetisch bepaald is of dat deze beïnvloedt kan worden door bepaalde trainingen. Er zijn aanwijzingen dat heuveltraining, strides (korte, krachtige sprintjes) of lopen op zachte ondergrond de pees zouden kunnen verlengen. Helaas kan er niks veranderd worden aan de hiellengte, aangezien deze lengte bepaald is bij de geboorte en dus genetisch bepaald is.

6.3.4 Houding

Een lang lichaam met een dunne bouw, een korte hiel en een lange slanke achillespees zijn gunstig voor een goede loopeconomie. Sommige aspecten zijn hiervan genetisch bepaald, maar er zijn ook manieren waarop het energieverbruik tijdens het lopen kan worden beïnvloedt. Zo kan bijvoorbeeld de houding van het lichaam tijdens het lopen veel energiewinst opleveren.

Opgetrokken schouders, verkrampde handen en bijbewegingen van de heupen of de bekken betekent aanspanning van onnodig veel spieren. Door met een ontspannen houding te lopen kan veel energie bespaard worden. Daarnaast kan ook gewerkt worden aan de armbeweging op een bepaald ritme en de grootte en frequentie van de passen die worden genomen. Ervaren lopers die hun pasfrequentie naar een optimale pasfrequentie weten te brengen hebben een verbetering van 0,6 procent in zuurstofgebruik. Dit resultaat is helaas alleen niet significant. Wanneer er naar individuele gevallen wordt gekeken blijkt dat er energie kan worden bespaard wanneer de pasfrequentie met zo'n vijf á acht procent wordt verhoogd. Voor de praktijk zijn deze individuele verbeteringen interessant. Het is van belang om als loper een zo efficiënt mogelijke loophouding aan te leren, aangezien de atleet op deze manier zijn energie kan sparen en dit is uiteindelijk winstgevend⁵⁶.

6.4 Geboren met lopen

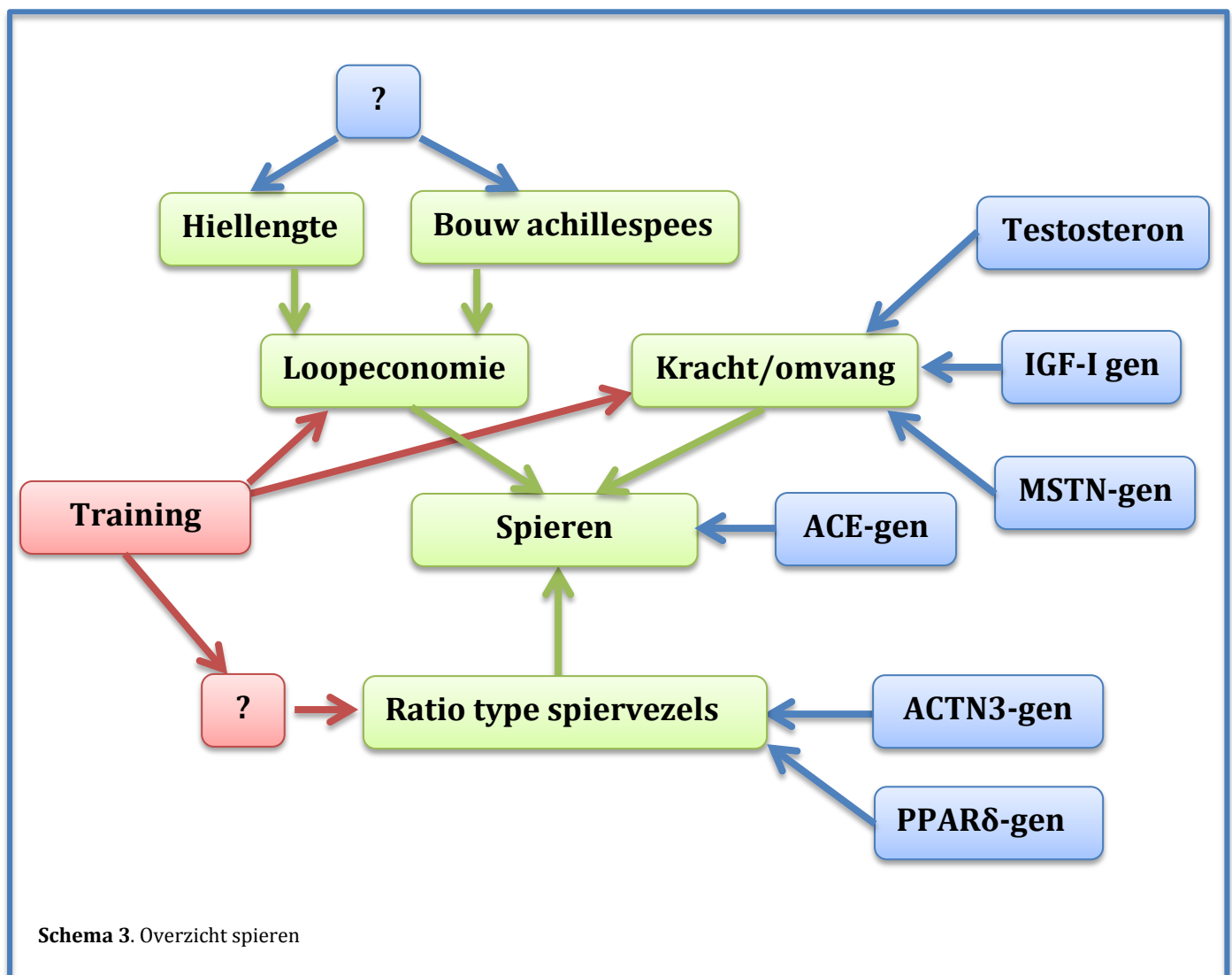
Er zijn onderzoeken waarin gekeken is naar de achtergrond van Keniaanse marathonlopers. Hierbij hebben onderzoekers aan atleten gevraagd hoeveel kilometer zij vroeger naar school moesten lopen. De atleten in dit artikel liepen op hun zevende levensjaar gemiddeld acht tot twaalf kilometer per dag, vijf dagen in de week⁵⁴. Toen de atleten volwassen werden liepen zij gemiddeld 90 kilometer per week. In het artikel staat dat Keniaanse kinderen die geen grote afstanden naar school moeten rennen een VO_2 max hebben die 30 procent lager is dan die van de kinderen die dat wel moeten en ongeveer gelijk is aan de VO_2 max van Deense kinderen. Dit verschil wordt niet alleen bij Kenianen gevonden. De VO_2 max neemt toe naarmate er meer getraind wordt. Dit suggereert dat training een rol speelt in de ontwikkeling van maximale zuurstof opname bij atleten. Alleen zullen we in Nederland niet zo snel onze kinderen naar school laten hardlopen. Daarnaast zijn de scholen in Nederland dicht bij huis dan in Kenia. In een ander onderzoek staat dat 14 van de 20 Keniaanse atleten, die zijn geïnterviewd, vroeger nooit naar school hoefden te rennen⁵⁷. Dus daarmee wordt niet bewezen dat rennen op jonge leeftijd nodig is om succesvol te zijn in de loopwereld op latere leeftijd.

6.5 ACE-gen

Het ACE-gen codeert voor het Angiotensine Converting Enzym, ofwel het ACE-enzym, in skeletspieren. Er komen twee verschillende varianten van dit gen voor. Bij de I-variant heeft er een insertie plaatsgevonden van 287 basenparen waardoor deze variant van het enzym langer is. De langere variant van het enzym zorgt voor een lagere enzymactiviteit en is geassocieerd met een verbeterde duurprestatie en anabole respons op zware training. De verbeterde duurprestatie ontstaat mede doordat de spier efficiënter werkt⁵⁸. Bij de D-variant heeft er een deletie plaatsgevonden waardoor het enzym korter is dan normaal. Deze variant is geassocieerd met krachtige prestaties en worden significant veel gevonden bij zwemmers in de top. Onderzoekers hebben gekeken naar de effecten van de lagere activiteit van het ACE-enzym bij de I-variant. Één van de effecten is dat de efficiëntie van de werking van de spieren beter is. Dit komt mede doordat het enzym invloed heeft op het lactaat-systeem⁵⁹. Bij een aantal marathonlopers die meelopen in de top is aangetoond dat zij de I-variant van het ACE-gen hebben⁵⁸.

6.6 Overzicht spieren marathonloper

De spieren van een marathonloper moeten veel aankunnen. Het is voordelig voor een looper om een groot percentage aan type I spiervezels te hebben, aangezien deze verantwoordelijk zijn voor aerobe inspanningen. De ratio aan type spiervezels wordt onder andere bepaald door het ACTN3-gen. Daarnaast speelt training misschien ook een rol bij de verhouding van type spiervezels. Het PPAR δ -gen zorgt voor meer type I vezels. De kracht en omvang van de spieren wordt bepaald door verschillende genen. Myostatine en IGF-I controleren de groei van de spieren door hun remmende en stimulerende werking. Testosteron behoort tot de groeihormonen en zorgt voor een toename in spiergroei. Het ACE-gen kan voorkomen in een lange variant en zorgt voor een lagere enzymactiviteit. De verandering in enzymactiviteit is geassocieerd met een verbeterde aerobe duurprestatie. De houding van een looper, ofwel de looptechniek, bepaalt de loopeconomie van een atleet. Een korte hiellengte en een lange, dunne achillespees zijn in verband gebracht met een gunstigere loopeconomie. De bouw van de kuit is een belangrijke factor bij het neerzetten van een goede prestatie tijdens de marathon. Hieronder zijn de verschillende factoren weergegeven die meespelen in de prestatie van de spieren.



7. Doorzettingsvermogen bij een marathonloper

Tot nu toe is de scriptie gegaan over de fysieke en genetische eigenschappen van een topsporter, maar ook mentaal moet een atleet sterk zijn. Training van het lichaam is belangrijk, maar training van het mentale vlak moet niet vergeten worden. Miriam van Reijen zegt hierover: “Ik denk dat de optimale fysieke bouw volgt uit trainingen en dat iedereen in principe een marathon kan lopen. Het gaat er vooral om dat je plezier hebt in wat je doet. Negen van de tien keer vind ik het fijn om te gaan trainen en om wedstrijden te lopen. Voor die ene keer heb ik doorzettingsvermogen nodig om toch te gaan”. Bij trainingen, maar zeker op cruciale momenten, zoals bijvoorbeeld de Olympische Spelen, moet het fysieke, maar ook het mentale gedeelte van een atleet helemaal klaar zijn voor de marathon. De mentale weerbaarheid van een topsporter gaat hier tot het uiterste. Een atleet moet een sterke winnaarsmentaliteit hebben, anders kom je als sporter niet aan de top. Erben Wennemars gaf in het debat ‘Voorbestemd voor Goud’ aan dat de sporters die als eerste over de finish komen de mensen zijn die kei en kei hard voor zichzelf zijn, heel diep kunnen gaan en voor niets terugdeinzen.

7.1 Genetische aanleg

Het is lastig om genen te vinden die te maken hebben met doorzettingsvermogen, aangezien het een complex begrip is. Met behulp van verschillende studies wordt er in de volgende paragrafen een beeld geschetst van genen die mogelijk een rol spelen bij het bepalen van de mate van doorzettingsvermogen bij personen.

7.1.1 Tweelingstudie mentale weerbaarheid

In een tweelingstudie is onderzoek gedaan naar de genetische aanleg voor mentale weerbaarheid⁶⁰. Het is van belang om eerst een goede definitie te formuleren voor dit begrip. In het artikel heeft men mentale weerbaarheid onderverdeeld in een aantal begrippen. ‘Control’, ofwel het vermogen om controle te houden in verschillende situaties. ‘Commitment’, verplichting, het gevoel om erbij betrokken te zijn en verantwoordelijkheidsgevoel te hebben. ‘Challenge’, uitdaging, het vermogen om steeds verder te gaan en jezelf te blijven ontwikkelen. En het laatste begrip ‘confidence’, vertrouwen, dit is tevens een hele belangrijke eigenschap voor een topsporter. Een atleet moet vertrouwen hebben in de coaches, maar vooral ook in zichzelf. Zo moet een sporter vertrouwen op zijn of haar kunnen en kunnen pieken op een stressvol moment, zoals op een grote wedstrijd. Door al deze begrippen bij elkaar samen te vatten ontstaat de volgende definitie van mentale weerbaarheid in het artikel: “Mentally tough individuals tend to be sociable and outgoing; as they are able to remain calm and relaxed, they are competitive in many situations and have lower anxiety levels than others. With a high sense of self-belief and an unshakeable faith that they control their own destiny, these individuals can remain relatively unaffected by competition or adversity”.

Met behulp van vragenlijsten zijn tweelingen in deze studie onderzocht op hun mentale weerbaarheid. Uiteindelijk is de conclusie van dit artikel dat mentale weerbaarheid voor een heel groot deel genetisch wordt bepaald. Er is veel meer overeenkomst te zien tussen de mate waarin een enkele tweeling mentaal hard kunnen zijn dan bij de twee-eiige tweelingen. Training en coaching kan leiden tot een verbetering van de mentale weerbaarheid, maar het is vooral

genetisch bepaald. De begrippen 'commitment' en 'control' zijn het minst erfelijk, dit zijn vaardigheden die vooral aan te leren zijn door middel van coaching en training. Welke genen verantwoordelijk zijn voor de mentale weerbaarheid, zijn niet vernoemd in het artikel. Doordat de tweelingen genetisch bijna identiek (twee-eiig) of 'identiek' (eeneiig) zijn, kan uit de resultaten van dit onderzoek gesuggereerd worden dat genetische aanleg een grote rol speelt bij de mate van doorzettingsvermogen. Genetische aanleg speelt in ieder geval een grotere rol dan training.

7.1.2 Sportgedrag

Janine Stubbe, onder andere onderzoekster bij TNO heeft in 2006 haar proefschrift gepubliceerd met de titel 'The genetics of exercise behavior and psychological well-being'⁶¹. In dit proefschrift beschrijft zij waarom sommige mensen het heerlijk vinden om een stuk te gaan hardlopen en waarom anderen liever op de bank blijven zitten dan zich in het zweet te werken. Stubbe heeft onderzoek gedaan of er een genetische aanleg is voor sportgedrag en daarnaast heeft ze ook gekeken naar het effect van sporten op het welbevinden van personen. Stubbe heeft het onderzoek naar sportgedrag niet gedaan met behulp van DNA-onderzoek, maar met een tweelingonderzoek. Zowel eeneiige als twee-eiige tweelingen werden gebruikt om vragenlijsten in te vullen. De ene helft van de tweeling deed wel aan sport, terwijl de andere helft niet aan sport deed.

Met behulp van het tweelingonderzoek is aangetoond dat genen geen rol spelen bij het sportgedrag van kinderen tot zestien jaar. In deze periode zijn de omgevingsfactoren heel belangrijk. Zoals opvoeding van de ouders, keuze voor sport van vriendjes en vriendinnetjes, sportfaciliteiten in de omgeving en een heleboel andere factoren. Elk kind tot zestien jaar kan dus beïnvloed worden zodat hij/zij gaat sporten. Na het zestiende levensjaar neemt de invloed van de omgevingsfactoren af en gaan de genen een rol spelen.

Op het twintigste levensjaar wordt het sportgedrag voor meer dan tachtig procent bepaald door de genen, daarna neemt dit percentage weer geleidelijk af. Dit zou te verklaren zijn doordat een mens op zijn eenentwintigste officieel volwassen is en er andere factoren gaan mee spelen in zijn of haar leven, zoals kinderen, relaties, werk, et cetera.

Wanneer er na het eenentwintigste jaar alsnog wordt gekozen om door te gaan in een sport (op hoog niveau) wil dat nog niet zeggen dat de top wordt bereikt. Een beetje doorzettingsvermogen is er dan sowieso, maar dat wordt nog meer op de proef gesteld bij tegenslagen en bij zware trainingen.

Stubbe geeft aan dat er tot nu toe vijf genen zijn gevonden die geassocieerd zijn met sportgedrag. Het sportgedrag van vrouwen wordt beïnvloed door polymorfismen in drie van deze genen. Het CYP19-gen codeert voor het enzym aromatase⁶². Dit enzym speelt een belangrijke rol in de synthese van oestrogeen. Een ander gen wat een rol speelt is de calcium receptor⁶³. En het derde gen wat een rol speelt is het DRD2-gen en codeert voor een receptor in het dopamine systeem. Dit laatste gen hangt samen met de gevoeligheid voor beloning en heeft invloed op het mentale vlak⁶⁴. Het is nog niet duidelijk of polymorfismen in deze genen ook een rol spelen bij het sportgedrag van mannen. Voor beide seksen geldt dat een polymorfisme in het

melanocortin-4-receptor-gen, de MC4R-C-2745T variant, geassocieerd is met matige tot inspannende lichamelijke activiteit of de drang om helemaal niet te sporten⁶⁵. Grote kans dat aanwezigheid van deze genvariant niet bij atleten wordt gevonden.

Marleen de Moor, universitair docent aan de faculteit psychologie en pedagogiek van de VU in Amsterdam, heeft in 2009 haar proefschrift gepubliceerd met de titel 'Exercise behavior and mental health. A genetic perspective'⁶⁶. In dit proefschrift beschrijft zij waarom sommige personen wel aan sport doen en anderen niet. Daarnaast heeft de Moor gekeken in hoeverre genetische aanleg een rol speelt bij sportgedrag en hoe sportgedrag samen hangt met angst en depressie. De Moor heeft gebruik gemaakt van vragenlijsten die tussen 1994 en 2004 zijn verzameld bij het Nederlands Tweelingen Register. Met behulp van tweelingdata kan vastgesteld worden of een eigenschap erfelijk is. Ook kan onderzocht worden of het verband tussen twee erfelijke eigenschappen verklaard kan worden door dezelfde erfelijke factoren.

Twee genen die mogelijk een rol spelen in het sportgedrag zijn het SGIP1-gen en het LEPR-gen. Deze genen komen tot expressie in de hypothalamus en spelen een rol in de homeostase van de energiehuishouding. Het lichaamsgewicht heeft hierbij geen effect op het sportgedrag, alleen de genen in de hypothalamus. Bepaalde varianten in deze genen zouden kunnen bepalen of een persoon van sporten houdt of juist niet. Andere genen die mogelijk een rol zouden spelen liggen op chromosoom 19 op locatie p13.3. Deze genen zouden mogelijk effect kunnen hebben op de bloedvoorziening en kracht van de spieren. Er zijn nog niet veel studies gedaan naar deze chromosoomregio en dus is er meer onderzoek nodig om vast te stellen of deze genen echt betrokken zijn en op welke manier. Op chromosoom 3 en 4 zijn ook genen gevonden die mogelijk een verband hebben met het sportgedrag van personen en ook met de mate hoe ver zij in de top van de sport belanden. Daarnaast is er ook een associatie gevonden met het DREAM-gen, Downstream Regulatory Element Antagonistic Modulator. Dit gen helpt bij regulering van pijn tolerantie en heeft mogelijk ook invloed op het vermogen van leren en herinnering⁶⁷. Bepaalde varianten van dit gen zijn geassocieerd met een verbeterde pijn tolerantie⁶⁸. In het interview geeft de Moor aan dat er onlangs onderzoek gedaan is naar doorzettingsvermogen en dat hierbij het KATNAL2B-gen gevonden is wat tot expressie komt in de hersenen en mogelijk een rol speelt in doorzettingsvermogen.

7.2 Omgevingsfactoren

Naast genetische factoren zijn omgevingsfactoren bepalend voor de mate waarin doorzettingsvermogen wordt ontwikkeld. Zo is er verschil te zien tussen personen met een andere opvoeding of een andere manier van training. Miriam van Reijen geeft aan dat ze niet veel weet over het onderzoek naar doorzettingsvermogen en topsport. Uit eigen ervaring denkt zij dat doorzettingsvermogen vooral gevormd wordt door opvoeding en ervaringen. Van Reijen: "Mijn ouders hebben door me een voorbeeld te geven laten zien wat je kunt bereiken met doorzettingsvermogen. Een aantal dingen die ik gedaan heb als kind lieten me zien dat ik me goed voelde als ik iets bereikte waarvoor ik had geleerd/getraind/gewerkt. Die positieve ervaringen zorgen ervoor dat ik graag lange termijn doelen stel en hiernaar toe werk. Een doel hebben werkt voor mij ontzettend motiverend, helemaal als de weg ernaar toe (trainingen) zo

leuk is.” Sportpsycholoog Karin de Bruin zegt: “De rol van de omgeving is groot. Ouders zijn cruciaal in de talentontwikkeling. Ook op factoren als motivatie en zelfvertrouwen is de sociale invloed zeer groot. Als sportpsycholoog betrek je de omgeving bij de begeleiding als dat kan om hen voor te lichten over bijv. het nut van effectieve/positieve taakgerichte coaching.”

7.2.1 Succes van de Kenianen

In het sportkatern van de Volkskrant op 13 september 2011 worden verschillende begeleiders van Keniaanse marathonlopers gevraagd naar hun mening op een aantal stellingen, waaronder de volgende stelling: de loopcultuur verklaart het Keniaanse succes, niet de genen⁶⁹.

Manager van de Keniaanse marathonloper Haile Gebrselassie, Jos Hermens, reageert hierop: “In Kenia is structuur vanwege het verleden als Engelse kolonie. Het is een structuur van likmevestje, maar het is structuur. Op school wordt aan atletiek gedaan. Er zijn wekelijks wedstrijden. Er zijn tientallen managers. Sommigen, zoals wij, hebben eigen trainingskampen. In Ethiopië, Tanzania of Oeganda heb je dat allemaal niet. Terwijl je daar ook de gunstige omstandigheden hebt voor het lopen. Als je dat tot ontwikkeling wilt brengen heb je nog honderd managers nodig.”

Gerard van de Veen, begeleider van de Keniaanse hardloper Geoffrey Mutai, zegt: “Voor Nederlandse jongens zijn voetballers een voorbeeld. Voor Keniaanse jongens marathonlopers. Ontkomen aan de armoede is een drijfveer. Je ziet dat veel jongens zonder werk beginnen met hardlopen. En die jongens realiseren zich heel goed dat ze heel hard moeten lopen als ze meewillen draaien in het circuit. Dat is een verklaring voor de kwaliteit in de breedte.”

Zoals Hermens en van de Veen benadrukken is de armoede in Kenia een feit. Vaak moeten jonge kinderen iedere dag een aantal kilometer naar school rennen, omdat de bus nemen niet mogelijk is of te duur. Aangezien de Kenianen het sinds de jaren zestig goed doen op de marathons zijn er vaak goede sportfaciliteiten op scholen aanwezig en worden er veel trainingskampen georganiseerd waar scouts naar toe komen⁷⁰. Hierdoor rennen de kinderen niet alleen van en naar school, maar ook nog op school. De leraren stimuleren de kinderen als het ware om te gaan lopen. Daarnaast kan de marathon als uitvlucht worden gezien. Er is maar een kleine kans dat de kinderen later een goede baan krijgen, aangezien er veel werkloosheid is in Kenia. Wanneer een kind een goede marathonloper wordt kan hij of zij aan de armoede ontsnappen en ‘vrij gemakkelijk’ rijk worden en zijn of haar familie ondersteunen. Waarschijnlijk is de gedachte op zo’n toekomst als een droom die werkelijkheid moet gaan worden. Hierdoor zou het zo kunnen zijn dat de Kenianen een veel grotere drijfveer hebben om te winnen. Ze willen niet zomaar als eerste over de streep komen, omdat ze het leuk vinden om de marathon in een snelle tijd te lopen. Het zou de Keniaanse marathonlopers in het begin vooral om het geld kunnen gaan. Het geld en de roem redt ze namelijk uit de armoede. Het is in principe te vergelijken met de jongetjes die straatvoetballen in de sloppenwijken van Brazilië. Deze kinderen kunnen alleen aan de armoede ontsnappen als zij goed zijn in voetbal.

Kenia is veel hoger gelegen en heeft een veel warmer klimaat dan bijvoorbeeld de landen in Europa. Hierdoor trainen de Kenianen als het ware altijd op hoogtestage in een warme omgeving. Daarnaast is het trainingsgebied van de Kenianen vaak niet vlak, maar bevat het

heuvels⁷¹. Hieruit zou gesuggereerd kunnen worden dat de trainingen van de Kenianen over het algemeen zwaarder zijn dan die van Europeanen. Doordat de Kenianen met behulp van de trainingen grenzen weten te verleggen, zouden ze dit voordeel hebben tijdens het lopen van een marathon en veel verder kunnen gaan dan de andere atleten. Miriam van Reijen woont sinds korte tijd in Kenia en ziet van dichtbij hoe de Kenianen trainen en wat hun drijfveer is om de marathon te winnen. Zij zegt in haar interview dat de trainingen die de Kenianen lopen in principe niet veel zwaarder zijn dan die van niet-Kenianen, aangezien de Kenianen aan de omgeving gewend zijn. Voor van Reijen zijn de trainingen op grote hoogte en het heuvellandschap, als Europeaan, een stuk zwaarder. Dit is waar te nemen door het verschil in looptijden te vergelijken bij Kenianen op hoogte en op zeeniveau. De tijden verschillen maar zo'n één á twee seconden per kilometer, terwijl het verschil bij van Reijen nog zo'n tien seconden is per kilometer. Volgens haar zijn het de omstandigheden waarin de Kenianen opgroeien die zorgen voor de grote prestatiedrang van de lopers. In Nederland is het maar voor een klein aantal lopers weggelegd om fulltime te kunnen trainen voor de marathon, terwijl in Kenia heel veel lopers alleen maar bezig zijn met trainen en worden ondersteund door hun familie. Er is een grote drang bij, omdat heel veel Kenianen bij de beste willen horen. Mogelijk zou dit iets met te maken hebben met de heersende armoede in het land. Afsluitend zegt van Reijen over het succes van de Oost-Afrikanen: "Ik denk dat het een heel scala is aan factoren die een rol spelen: hun bouw, hun opvoeding waarbij ze veel lichamelijk actief zijn, de grote voorbeelden die dicht in de buurt zijn (in Iten waar ik woon, wonen een tiental Olympische en wereldkampioenen), hun financiële motivatie, hun bouw, hun ontspannenheid, het klimaat en de manier waarop ze in een groep trainen en elkaar versterken."

Er zijn ook wetenschappers die spreken van een psychologisch fenomeen omtrent het succes van de Kenianen. Één van deze wetenschappers is Bruce Hamilton⁷². In zijn artikel stelt hij dat Oost-Afrikanen ongeëvenaarde lopers zijn en dat dit werkt als 'self fulfilling prophecy'. Ofwel, omdat iedereen gelooft dat Kenianen beter zijn, wordt het als het ware werkelijkheid, maar wordt het ook in stand gehouden. Wanneer een niet-Keniaanse atleet aan de start staat bij de marathon en denkt dat de Keniaanse hardlopers die ook mee doen in het voordeel zijn, kan dit negatief werken op de prestatie van de niet-Keniaan. Dit kan vervolgens nog eens ondersteund worden door de omgeving van de atleet. Wanneer vrienden, familie, maar ook fans uitspreken dat je als niet-Keniaan toch geen kans of als Keniaan juist kans hebt, draagt de atleet deze gedachten mentaal met zich mee. Andersom werkt dit weer voordelig voor de Kenianen. Zij lopen namelijk met de gedachte dat ze de atleten van niet Keniaanse afkomst er uit lopen.

In een Canadees onderzoek wordt ook bevestigd dat mensen mogelijk vooroordelen over genetische aanleg geloven, zonder dat ze onderzoeken of de informatie die ze gehoord hebben wel op echte feiten is gebaseerd. In hun artikel noemen ze dit psychologische fenomeen ook wel 'stereotype threat', de dreiging van het vooroordeel⁷³. Er zijn veel voorbeelden te vinden van dit fenomeen. Één van deze voorbeelden is een proef waarin vrouwen aan een wiskundetest moesten deelnemen. De vrouwen werden opgedeeld in verschillende groepen en iedere test werd in een andere opzet gedaan. Wanneer de vrouwen van tevoren werden herinnerd aan het vooroordeel dat vrouwen slechter in wiskunde zijn dan mannen, werden de testresultaten van de vrouwen minder. Wanneer de vrouwen niet werden herinnerd aan dit vooroordeel was er

geen verschil in resultaat tussen mannen en vrouwen. Als de theorie van 'stereotype threat' dus waar is, doen blanke atleten als het ware onder aan hun eigen geloof. Wanneer ze vooroordelen buiten beschouwing zouden laten zou dit tot een veel beter doorzettingsvermogen kunnen leiden.

7.2.2 Pijn tolerantie

In verschillende studies is onderzoek gedaan naar de pijn tolerantie van atleten vergeleken met die van niet-atleten⁷⁴. Uit de resultaten blijkt dat de atleten een veel hogere pijn tolerantie hebben. De resultaten indiceren dat regelmatige lichamelijke beweging geassocieerd is met veranderingen in pijn perceptie. In het onderzoek zijn atleten gebruikt van verschillende sporten. Daarnaast waren er verschillende manieren om de pijn tolerantie van de personen in het onderzoek te testen. Wat de onderliggende relatie precies is tussen lichamelijke beweging en veranderingen in pijn tolerantie is nog niet duidelijk. In een onderzoek werd gevonden dat geslacht of genetische aanleg maar weinig effect heeft op de mate van pijn tolerantie⁷⁵. Pijn tolerantie kan veranderen door psychologische factoren⁷⁶. Atleten worden tijdens hun vele trainingen en wedstrijden blootgesteld aan onaangename gebeurtenissen, waardoor zij psychisch steeds weerbaarder worden tegen pijn. Dus door de mate van blootstelling aan pijn en onaangename gebeurtenissen veranderen de atleten mentaal. Vandaar dat atleten vaak hele zware trainingen opgelegd krijgen door hun coaches, zodat de atleten steeds verder kunnen gaan en harder worden. Volgens Miriam van Reijen heeft het lopen weinig te maken met tolereren van pijn. Ze zegt: "Ik denk dat een marathon lopen weinig te maken heeft met het tolereren van pijn. Het gaat erom dat je bereid bent om je goed voor te bereiden, de trainingen te doen, voldoende te rusten zodat je goed voorbereid aan de start staat. Als je voor je gevoel alles hebt gedaan om een goed resultaat te bereiken is het lopen van een marathon juist een heel prettige ervaring. Ik ervaar het niet als pijn maar je moet de signalen van je lichaam, die aangeven dat ze willen stoppen, kunnen negeren. Ik denk dat het mentale aspect daarbij een grote rol speelt. Ik zeg altijd dat een 5.000m vooral je fysieke grenzen opzoekt, een marathon je mentale grenzen." Atleten hebben dus misschien niet altijd al vanaf het begin een hogere pijn tolerantie, maar wat ze wel hebben is een goed doorzettingsvermogen, waardoor zij zich ook tegen de pijn kunnen weren die gepaard gaat bij het lopen van een marathon.

7.2.3 Sportpsycholoog en mentale coaching

Sommige atleten hebben naast hun gewone fysieke trainingen ook trainingen bij een sportpsycholoog. Sportpsychologie bestudeert gedachten, gevoelens en gedrag in sportsituaties⁷⁷. De sportpsycholoog kan samen met de atleet aan bepaalde punten werken zoals zelfvertrouwen, positief denken en doelen stellen. Een sportpsycholoog kan een atleet leren hoe hij of zij het beste kan omgaan met stress, mentaal het beste voorbereid kan zijn op een wedstrijd door bijvoorbeeld de wedstrijd van te voren te visualiseren of door een 'peptalk' aan te geven. Thomas Waanders, sportpsycholoog en bewegingswetenschapper, zegt over doorzettingsvermogen: "Het is in ieder geval trainbaar. In welke mate het aangeboren is weet ik niet." De Moor zegt hierover: "Het feit dat er genen zijn die doorzettingsvermogen of andere persoonlijkheidstrekken bepalen betekent overigens niet dat het niet aan te leren valt. Doorzettingsvermogen kan zeker ook getraind worden. Daarvoor geldt echter wel weer dat dit bij iemand met weinig genetische aanleg moeilijker zal zijn dan bij iemand met veel genetische

aanleg. Het gaat er eigenlijk om mensen met genetische aanleg voor sport een zo optimale omgeving aan te bieden (o.a. in de training) zodat het maximale uit iemands genetische potentiaal gehaald wordt en iemand dus maximaal kan presteren.”

Peter Moorman is kunstrijder geweest en behaalde de negende plaats op de wereldranglijst. Daarnaast heeft Moorman psychologie gestudeerd en een proefschrift geschreven waarin hij onder andere het effect heeft bekeken van inbeelding van een training of een wedstrijd⁷⁸. Uit zijn onderzoek bleek dat in het inbeelden van een beweging tot dezelfde resultaten leidde als het fysiek oefenen van een beweging. In dit proefschrift heeft Moorman zich gespecificeerd op kunstschaatsen, maar dit kan ook werken voor de marathon, aangezien techniek hier ook erg belangrijk is.

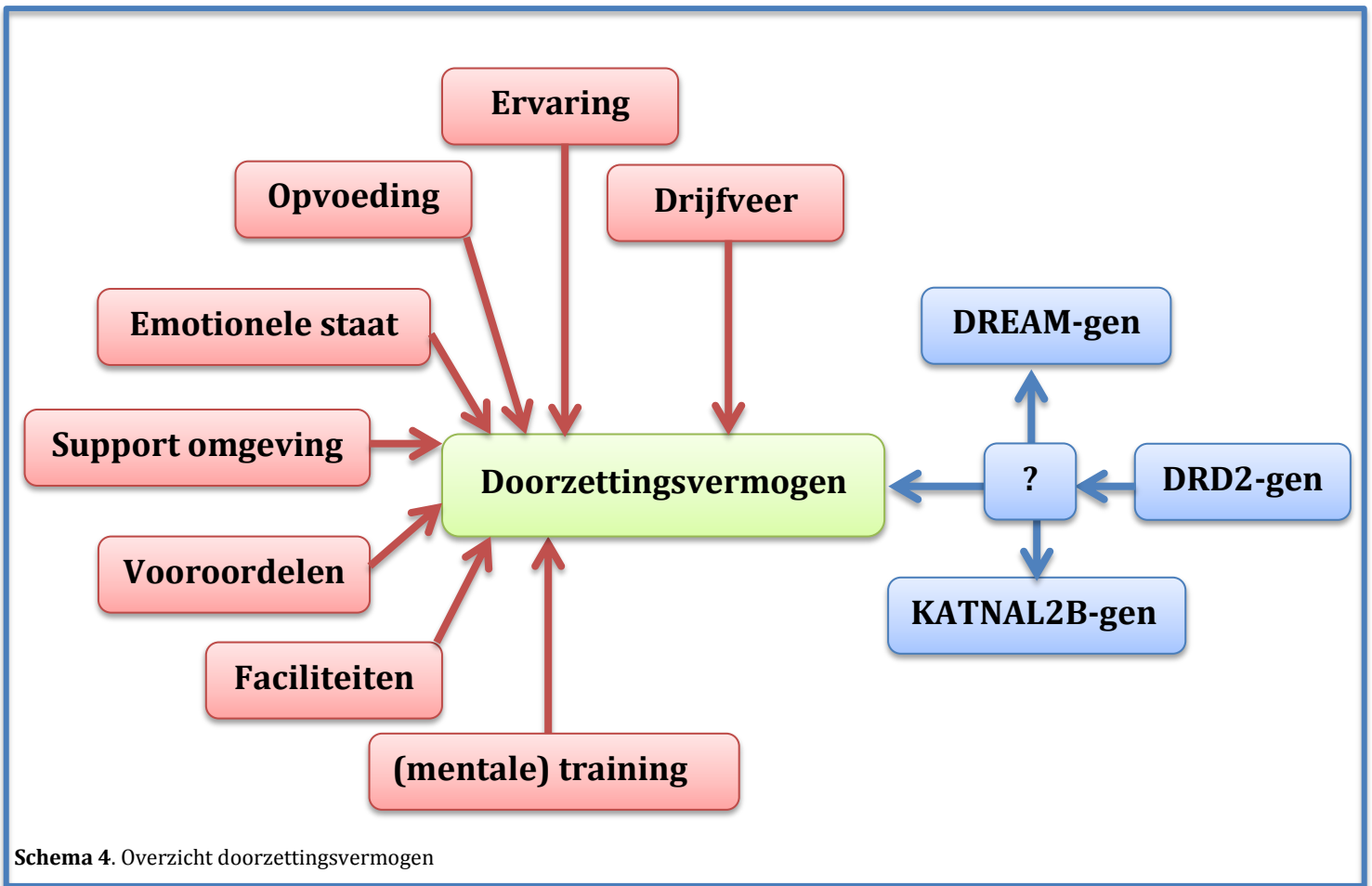
In een onderzoek naar atleten die meedoen aan de triatlon is gekeken naar de mentale training die door atleten wordt uitgevoerd⁷⁹. Een positieve ‘peptalk’ geven, was een van de mentale technieken die het meeste werd gebruikt tijdens trainingen en voor wedstrijden. De helft van de atleten doet aan visualisatie bij trainingen en wedstrijden. Twintig procent van de atleten deed geen mentale trainingen.

7.3 Overzicht doorzettingsvermogen

Er zijn tot nu toe nog geen concrete artikelen gevonden met een directe link tussen genen en doorzettingsvermogen. Dit komt mede doordat doorzettingsvermogen moeilijk te meten is en een groot begrip is. Mogelijk spelen het DRD2-gen en het DREAM-gen een rol. Marleen de Moor geeft in haar interview aan dat het KATNAL2B-gen onlangs gevonden is in onderzoek en mogelijk ook een rol speelt bij doorzettingsvermogen.

Wat ook een mogelijkheid is, is dat doorzettingsvermogen tot stand komt door een combinatie van de genen die in de voorgaande hoofdstukken zijn besproken. De Finse langlaufer had een mutatie in het EPOR-gen, waardoor hij veel meer rode bloedcellen en dus een veel beter uithoudingsvermogen had. Deze langlaufer werd als het ware nooit moe, in vergelijking met de langlaufers die deze mutatie niet hadden. Ofwel deze Finse langlaufer hoefde niet zo diep te gaan en had waarschijnlijk veel minder last van vermoeidheid dan de andere langlaufers die helemaal kapot waren na een race. Het zou dus zo kunnen zijn dat het doorzettingsvermogen verschilt tussen topsporters. De ene topsporter doet het vooral op zijn mentale kunnen en een andere topsporter heeft een ideale bouw, maar is mentaal minder sterk maar dat wordt weer gecompenseerd door de fysieke kwaliteiten.

Er zijn veel omgevingsfactoren die invloed hebben op het doorzettingsvermogen van een atleet. Denk aan de emotionele staat, opvoeding, drijfveer, support van de omgeving, ervaringen en faciliteiten in de omgeving van de atleet. Daarnaast speelt (mentale) training ook een grote rol bij het verbeteren van het doorzettingsvermogen. Mogelijkerwijs speelt de aanwezigheid van vooroordelen over bijvoorbeeld het voordeel van de Kenianen ook een rol.



8. Discussie

8.1 Literatuuronderzoek

In het literatuuronderzoek is gekeken naar de invloed van genetische- en omgevingsfactoren bij het behalen van de eerste plek van de marathon. De vraag die in deze scriptie wordt gesteld is: 'Welke factoren bepalen of een hardloper als eerste over de finish van de marathon komt?' Uit de gevonden aspecten is gebleken dat beide factoren invloed hebben op de prestatie van lopers. Het is lastig om te bepalen of het vooral de genetische factoren of de omgevingsfactoren zijn die verantwoordelijk zijn voor de prestatie van een loper en in welke percentage dit zich uit.

Het zou zo kunnen zijn dat de ene atleet meer genetisch voordeel heeft en de andere atleet opgegroeid is in een gunstigere omgeving. Een atleet die meer genetisch voordeel heeft, is de Finse langlaufer. Vanwege een mutatie in het EPOR-gen had deze atleet een heel goed uithoudingsvermogen en won bijna alle wedstrijden. Door een gunstige mutatie kun je als atleet een voordeel hebben ten opzichte van de andere atleten. Wanneer een atleet een voordelige genvariant heeft van bijvoorbeeld het ACTN3-gen is dit nog niet gelijk een groot voordeel. Dit geldt ook voor de VO_2 max. Een combinatie van veel 'goede' genvarianten kan wel voor verschil zorgen tussen atleten. In een studie is gekeken naar de aan- of afwezigheid van kandidaatgenen bij topatleten⁸⁰. Als kandidaatgenen werden onder andere de volgende genen genomen: ACTN3-gen, ACE-gen, PPAR δ -gen, CKMM-gen en het MSTN-gen. Geen van de atleten had alle voordelige varianten van de kandidaatgenen en sommige hadden er maar een paar. Dit suggereert dat goede genvarianten niet alles bepalen, maar dat training ook erg belangrijk is. Het zou wel interessant zijn om een persoon te vinden die alle goede varianten van de genen, die gerelateerd zijn aan het lopen van een marathon, zou bezitten. Zou zo'n persoon dan bijvoorbeeld veel beter dan de andere atleten kunnen presteren? Helaas is er nog niemand gevonden met dit gen-profiel.

Aan een aantal deskundigen is gevraagd een schatting te maken, in procenten, van de verhouding tussen genetische aanleg en omgevingsfactoren. Volgens bewegingswetenschapper en hardlooperster Miriam van Reijen ligt de verhouding genetische- en omgevingsfactoren rond de 20-80 procent. Bewegingswetenschapper en sportpsycholoog Thomas Waanders maakt hierbij een onderscheid in het fysieke deel (70-30 procent) en het mentale deel (30-70 procent). Sportpsycholoog Karin de Bruin geeft een schatting van 50-50 procent. Onderzoekster Marleen de Moor zegt hierover: "Voor sportgedrag en verwante fenotypes als bijvoorbeeld sportprestatie en uithoudingsvermogen zien we over het algemeen dat grofweg de helft van de verschillen tussen mensen verklaard wordt door genen en de andere helft door omgevingsfactoren. (...) Deze percentages komen meestal uit tweelingstudies. (...) Het is overigens belangrijk om erbij te zeggen dat deze percentages dus iets zeggen over groepen mensen, en niet per se over individuen. (...) Je kan niet zeggen dat het feit dat iemand topatleet is voor 50% door zijn of haar genen komt. Genen kunnen welk verklaren waarom deze persoon topatleet is geworden, en een ander niet!"

Het succes van de Kenianen blijft een groot mysterie. Mensen blijven er van overtuigd dat Kenianen voordeel hebben vanwege hun afkomst. De Kenianen zouden voordeel hebben vanwege hun omgevingsfactoren en hun genetische achtergrond. Aangetoond is dat Kenianen een kortere hiellengte en langere achillespees hebben en daarmee een voordelige looeconomie. Daarnaast trainen de Kenianen veel op grote hoogte en zijn de trainingen zwaar. Een andere factor die mogelijk meespeelt is de drijfveer van de Kenianen, aangezien ze in grote armoede leven kan hardlopen op topniveau mogelijk als uitvlucht worden gezien. De gedachte naar een beter leven zou voor veel meer doorzettingsvermogen kunnen zorgen in vergelijking met andere atleten die deze drijfveer niet hebben. Zowel genetische- als omgevingsfactoren zouden dus een rol kunnen spelen bij het succes van de Kenianen.

Een marathon uitlopen zonder van te voren te trainen is in de meeste gevallen geen optie. Om eerste te worden bij een marathon is training dus essentieel. Training op grote hoogte kan zorgen voor fysieke aanpassingen waardoor het lichaam nog beter in staat is om een goede prestatie neer te zetten tijdens het lopen van een marathon. Zowel lichamelijke als mentale training is belangrijk om uiteindelijk als eerste over de finish te komen.

Tegenwoordig is er veel meer mogelijk op het gebied van doping. Het is mogelijk om bepaalde genen toe te voegen aan lichaamscellen, ook wel gendoping genoemd. Atleten kunnen met behulp van gendoping goede genvarianten aan hun lichaam toevoegen zodat ze nog beter kunnen presteren. Hierdoor kunnen de atleten uiteindelijk genetisch 'perfect' worden. Wanneer dit bereikt wordt spelen alleen de omgevingsfactoren nog een rol. Training van het mentale vlak, de mate van doorzettingsvermogen, wordt dan waarschijnlijk heel erg belangrijk.

Aan de hand van de resultaten van het literatuuronderzoek en na het raadplegen van de deskundigen kan er geen duidelijk percentage geven worden in hoeverre de genetische en de omgevingsfactoren een rol spelen. Wat wel duidelijk is, is dat beide factoren een grote rol kunnen spelen.

8.2 Onderzoeksdeel

De vraag van het literatuurdeel van deze scriptie is: 'Welke factoren bepalen of een hardloper als eerste over de finish van de marathon komt?'. Met behulp van de informatie uit het literatuurdeel is het mogelijk geweest om een model te maken van factoren die een rol spelen bij het behalen van een topprestatie als marathonloper. Dit model is te vinden in bijlage 6. In het onderzoeksdeel is de vraag: 'Is het model wat gemaakt is actueel, correct en bruikbaar in het onderwijs?'. Om te bepalen of het model correct en actueel is, zijn er een twee onderzoeksters geraadpleegd.

Bewegingswetenschapper en hardlooper Miriam van Reijen zegt: "Ik denk dat het kader voeding ook bij kracht/omvang een belangrijke rol speelt. Verder beschouw ik massage en core stability als tevens belangrijke factoren als ook mentale training/begeleiding. Meer dan de bouw van de kuit zou ik de nadruk leggen op de achillespees en zijn ook gewicht en lengte belangrijke factoren." Ik heb er bewust voor gekozen om me te beperken tot vier sub-onderwerpen:

energiehuishouding, zuurstoftransport, spieren en doorzettingsvermogen. Wanneer ik nog meer onderwerpen zou hebben toegevoegd zou de scriptie te breed worden. Daarnaast is er over de eerste drie sub-onderwerpen veel informatie te vinden en hierdoor is het goed bruikbaar in het onderwijs. Leerlingen kunnen hierdoor zelf redelijk makkelijk achter informatie komen over deze onderwerpen. Het laatste sub-onderwerp, doorzettingsvermogen, is een wat moeilijker onderwerp aangezien hier minder informatie over bekend is. Dit kan de leerlingen leren dat de relatie tussen genetische- en omgevingsfactoren niet altijd zwart wit is en dat er ook nog veel zaken zijn waar nog niet veel over bekend is. Massage en core stability vind ik zelf eerder onderdeel van een omgevingsfactor en niet een onderwerp op zichzelf. Na dit interview is er meer informatie opgenomen in de scriptie en het model over de bouw van zowel de hiellengte als de bouw en lengte van de achillespees.

Onderzoekster Marleen de Moor zegt: “De belangrijkste factoren zitten in het model. Wel denk ik dat ik sommige paden anders zou trekken. Het ACE gen heeft bijvoorbeeld te maken met het reguleren van bloeddruk en de bloedcirculatie, en niet zozeer met het mentale vlak. Het MC4R gen komt tot expressie in de hypothalamus en is betrokken met energie homeostase (balans tussen energie inname en verbranding), en zou ik dus eerder bij de energiehuishouding plaatsen. Het DRD2 gen bijvoorbeeld is gelinkt aan dopamine systemen die samenhangen met gevoeligheid voor beloning, en is dus wel een gen dat invloed heeft op het mentale vlak.” De suggesties die de Moor heeft gedaan heb ik opgenomen in het model. Daarnaast geeft de Moor aan dat het erg belangrijk is om zowel genetische- als omgevingsfactoren te bestuderen bij verschijnselen, vooral bij zoiets als een sportprestatie. Ze zegt: “Als je onderzoek doet naar omgevingsfactoren kan je eigenlijk de genetische factoren niet buiten beschouwing laten (als de kenmerken die je bestudeert erfelijk zijn natuurlijk, en dat geldt in ieder geval wel voor sportgedrag en -prestatie). Een deel van het verband tussen een omgevingsfactor en de uitkomstmaat kan namelijk verklaard worden door gedeelde genen. Ook kan het zijn dat het effect van de omgeving afhangt van de genen. Dit wordt gen-omgevingsinteractie genoemd. Een goed voorbeeld is training en VO_2 max. Het is aangetoond dat het effect van training op de verbetering van de VO_2 max verschilt voor mensen met verschillend genotype. Sommige mensen reageren sterk op training en laten een snelle verbetering in VO_2 max zien, terwijl dit effect voor anderen uitblijft of minimaal is. Het bestuderen van die genetische verschillen voegt dus hele belangrijke informatie toe!” Om leerlingen te leren hoe belangrijk de relatie is tussen zowel genetische- als omgevingsfactoren is een model zoals die gemaakt is van een marathonloper, mogelijk wel geschikt.

Om de bruikbaarheid van het model te onderzoeken is het model getoond aan de biologie docent van het Rotterdamse Montessori Lyceum te Rotterdam. Volgens Jeroen Coenemans kan het model van een marathonloper goed gebruikt worden in het onderwijs. “Het voorbeeld van een marathonloper is erg duidelijk voor leerlingen, waardoor het makkelijk te begrijpen is. Leerlingen kunnen van te voren zelf al goed bedenken wat mogelijkerwijs goede eigenschappen/genen en omgevingsfactoren zouden kunnen zijn om de marathon te kunnen winnen. Daarnaast zijn er al veel genetische en omgevingsfactoren bekend en staan er weinig vraagtekens in het model. Dit zorgt voor veel duidelijkheid”, zegt Coenemans. “Het is mogelijk

om als leerling meer achtergrondinformatie op te zoeken op bijvoorbeeld het internet en in artikelen. Deze informatie is vervolgens ook redelijk makkelijk om als leerling te kunnen begrijpen. Het genetisch portret zou kunnen helpen om aan leerlingen duidelijk te maken dat er veel interactie is tussen genetische aanleg en omgevingsfactoren. Zo kunnen leerlingen leren dat het om een complex netwerk gaat van factoren die een rol hebben bij een fenomeen, maar daarnaast ook met elkaar in relatie staan. Het is wel belangrijk om naast het model genoeg achtergrondinformatie te geven aan de docenten. De docenten hoeven zich op deze manier niet helemaal in de stof te verdiepen en kunnen de leerlingen toch verder helpen.” Mogelijkerwijs is het een idee om de docenten een verkorte versie van het literatuurdeel van de scriptie te geven waardoor zij genoeg achtergrondinformatie hebben om de leerlingen te kunnen begeleiden. Het model zou kunnen worden toegepast in een les biologie door bijvoorbeeld gedurende een week aan de slag te gaan met dit model. Allereerst kan een model worden getoond aan de leerlingen met alleen de vier sub-onderwerpen. Vervolgens kan de klas in verschillende groepjes worden ingedeeld. Ieder groepje heeft een week de tijd om informatie te verzamelen over zijn of haar sub-onderwerp. Na ongeveer een week moeten de verschillende groepjes een prestatie aan de klas geven over hun sub-onderwerp. Wanneer alle presentaties zijn gegeven kunnen de leerlingen het model volledig invullen.

Samenvattend is het model wat gemaakt is in het onderzoeksdeel actueel en correct beschouwd door onderzoekster Miriam van Reijen en Marleen de Moor. Daarnaast vindt docent Jeroen Coenemans het model erg bruikbaar in zijn biologielessen. Op deze manier kan hij de leerlingen laten zien hoe belangrijk genetische- en omgevingsfactoren zijn bij bepaalde fenomenen, zoals bijvoorbeeld het winnen van de marathon. Mogelijkerwijs kan het model in de toekomst gebruikt worden tijdens Biologie lessen ter ondersteuning van het lesprogramma.

9. Referenties

1. Joyner, M. J., Ruiz, J. R. & Lucia, A. The two-hour marathon: who and when? *J. Appl. Physiol.* 110, 275-277 (2011).
2. <http://www.arrs.net>.
3. Fox, E. L. & Mathews, D. K. *Fysiologie van lichamelijke opvoeding en sport* (Uitgeversmaatschappij de Tijdstroom, Lochem, 1989).
4. Alberts, B. *et al. Molecular biology of the cell* (Garland Science, Taylor & Francis Group, New York, 2008).
5. Frayn, K. N. *Metabolic regulation. A human perspective* (Wiley-Blackwell, Oxford, 2010).
6. http://users.telenet.be/rpmfitnesscoach/voeding%20algemeen_bestanden/energie.htm.
7. Jeukendrup, A. E. Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition* 20, 669-677 (2004).
8. Bergstrom, J., Hermansen, L., Hultman, E. & Saltin, B. Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol. Scand.* 71, 140-150 (1967).
9. Hermansen, L., Hultman, E. & Saltin, B. Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta Physiol. Scand.* 71, 129-139 (1967).
10. Shirreffs, S. M. & Sawka, M. N. Fluid and electrolyte needs for training, competition, and recovery. *J. Sports Sci.* 29 Suppl 1, S39-46 (2011).
11. Hawley, J. A., Schabort, E. J., Noakes, T. D. & Dennis, S. C. Carbohydrate-loading and exercise performance. An update. *Sports Med.* 24, 73-81 (1997).
12. Coyle, E. F., Jeukendrup, A. E., Oseto, M. C., Hodgkinson, B. J. & Zderic, T. W. Low-fat diet alters intramuscular substrates and reduces lipolysis and fat oxidation during exercise. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 280, E391-8 (2001).
13. <http://www.looptijden.nl/hardlopen/voeding-marathon>.
14. Foster, C., Costill, D. L. & Fink, W. J. Effects of preexercise feedings on endurance performance. *Med. Sci. Sports* 11, 1-5 (1979).
15. Costill, D. L. & Fox, E. L. Energetics of marathon running. *Med Sci Sport*, 81-86 (1969).
16. Hultman, E. & Bergstrom, J. Muscle glycogen synthesis in relation to diet studied in normal subjects. *Acta Med. Scand.* 182, 109-117 (1967).
17. Rosser, B. W. & Hochachka, P. W. Metabolic capacity of muscle fibers from high-altitude natives. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 67, 513-517 (1993).
18. <http://www.pponline.co.uk/encyc/time-splitting-and-race-results-463>.
19. Kayser, B. Lactate during exercise at high altitude. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 74, 195-205 (1996).
20. Lippi, G., Longo, U. G. & Maffulli, N. Genetics and sports. *Br. Med. Bull.* 93, 27-47 (2010).
21. Wang, Y. X. *et al.* Regulation of muscle fiber type and running endurance by PPARdelta. *PLoS Biol.* 2, e294 (2004).
22. Akhmetov, I. I., Astranenkova, I. V. & Rogozkin, V. A. Association of PPARD gene polymorphism with human physical performance. *Mol. Biol. (Mosk)* 41, 852-857 (2007).
23. Harris, R. C. *et al.* The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflugers Arch.* 367, 137-142 (1976).
24. Piiper, J. & Spiller, P. Repayment of O₂ debt and resynthesis of high-energy phosphates in gastrocnemius muscle of the dog. *J. Appl. Physiol.* 28, 657-662 (1970).

25. Roberts, A. D. & Morton, A. R. Total and alactic oxygen debts after supramaximal work. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 38, 281-289 (1978).
26. Hagerman, F. C., Connors, M. C., Gault, J. A., Hagerman, G. R. & Polinski, W. J. Energy expenditure during simulated rowing. *J. Appl. Physiol.* 45, 87-93 (1978).
27. Astrand, P. O., Cuddy, T. E., Saltin, B. & Stenberg, J. Cardiac Output during Submaximal and Maximal Work. *J. Appl. Physiol.* 19, 268-274 (1964).
28. http://www.consumed.nl/ziekten/5543/Hematocriet-waarde_Ht.
29. <http://www.sportsscientists.com/2008/09/haile-gebrselassie.html>.
30. Van Der Hoek, S. & Pieters, T. *Supergenen en turbosporters* (Nieuw Amsterdam, Amsterdam, 2009).
31. de la Chapelle, A., Traskelin, A. L. & Juvonen, E. Truncated erythropoietin receptor causes dominantly inherited benign human erythrocytosis. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 90, 4495-4499 (1993).
32. Stray-Gundersen, J., Chapman, R. F. & Levine, B. D. "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J. Appl. Physiol.* 91, 1113-1120 (2001).
33. Lumbroso, D. *et al.* Life-long consequences of postnatal normoxia exposure in rats raised at high altitude. *J. Appl. Physiol.* 112, 33-41 (2012).
34. <http://www.phosphosite.org/proteinAction.do?id=614>.
35. Ingjer, F. Maximal aerobic power related to the capillary supply of the quadriceps femoris muscle in man. *Acta Physiol. Scand.* 104, 238-240 (1978).
36. Saltin, B., Henriksson, J., Nygaard, E., Andersen, P. & Jansson, E. Fiber types and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary man and endurance runners. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 301, 3-29 (1977).
37. Bergh, U. *et al.* Maximal oxygen uptake and muscle fiber types in trained and untrained humans. *Med. Sci. Sports* 10, 151-154 (1978).
38. Jansson, E., Sjodin, B. & Tesch, P. Changes in muscle fibre type distribution in man after physical training. A sign of fibre type transformation? *Acta Physiol. Scand.* 104, 235-237 (1978).
39. <http://www.nytimes.com/2008/11/30/sports/30genetics.html?pagewanted=all>.
40. Yang, N. *et al.* ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance. *Am. J. Hum. Genet.* 73, 627-631 (2003).
41. Klissouras, V. Heritability of adaptive variation. *J. Appl. Physiol.* 31, 338-344 (1971).
42. Klissouras, V., Pirnay, F. & Petit, J. M. Adaptation to maximal effort: genetics and age. *J. Appl. Physiol.* 35, 288-293 (1973).
43. Komi, P. V. *et al.* Skeletal muscle fibres and muscle enzyme activities in monozygous and dizygous twins of both sexes. *Acta Physiol. Scand.* 100, 385-392 (1977).
44. Gonzalez-Cadavid, N. F. *et al.* Organization of the human myostatin gene and expression in healthy men and HIV-infected men with muscle wasting. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 95, 14938-14943 (1998).
45. Williams, M. S. Myostatin mutation associated with gross muscle hypertrophy in a child. *N. Engl. J. Med.* 351, 1030-1; author reply 1030-1 (2004).

46. Pierson, S. T. The culture of the elite athlete: an enhanced perspective on the case of Caster Semenya, and gender verification testing. *J. Genet. Couns.* 20, 323-324 (2011).
47. <http://www.foekjedillema.nl/>.
48. <http://www.athleticsnovascotia.ca/images/Coaching/endurance/kenyaprojectfinal-report.pdf>
49. Larsen, H. B., Christensen, D. L., Nolan, T. & Sondergaard, H. Body dimensions, exercise capacity and physical activity level of adolescent Nandi boys in western Kenya. *Ann. Hum. Biol.* 31, 159-173 (2004).
50. Saltin, B. *et al.* Morphology, enzyme activities and buffer capacity in leg muscles of Kenyan and Scandinavian runners. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 5, 222-230 (1995).
51. <http://www.vpro.nl>.
52. Myers, M. J. & Steudel, K. Effect of limb mass and its distribution on the energetic cost of running. *J. Exp. Biol.* 116, 363-373 (1985).
53. Scholz, M. N., Bobbert, M. F., van Soest, A. J., Clark, J. R. & van Heerden, J. Running biomechanics: shorter heels, better economy. *J. Exp. Biol.* 211, 3266-3271 (2008).
54. Saltin, B. *et al.* Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 5, 209-221 (1995).
55. Raichlen, D. A., Armstrong, H. & Lieberman, D. E. Calcaneus length determines running economy: implications for endurance running performance in modern humans and Neandertals. *J. Hum. Evol.* 60, 299-308 (2011).
56. Bonacci, J., Chapman, A., Blanch, P. & Vicenzino, B. Neuromuscular adaptations to training, injury and passive interventions: implications for running economy. *Sports Med.* 39, 903-921 (2009).
57. Bale, J. & Sang, J. *Kenyan running. Movement culture, geography and global change* (Frank Cass and Co Ltd., London, 1996).
58. Williams, A. G. *et al.* The ACE gene and muscle performance. *Nature* 403, 614 (2000).
59. Spurr, G. B., Dufour, D. L. & Reina, J. C. Increased muscular efficiency during lactation in Colombian women. *Eur. J. Clin. Nutr.* 52, 17-21 (1998).
60. Veselka, L., Schermer, J. A., Petrides, K. V. & Vernon, P. A. Evidence for a heritable general factor of personality in two studies. *Twin Res. Hum. Genet.* 12, 254-260 (2009).
61. Stubbe, J. The genetics of exercise behavior and psychological well-being. (2006).
62. Salmen, T. *et al.* Relation of aromatase gene polymorphism and hormone replacement therapy to serum estradiol levels, bone mineral density, and fracture risk in early postmenopausal women. *Ann. Med.* 35, 282-288 (2003).
63. Lorentzon, M., Lorentzon, R., Lerner, U. H. & Nordstrom, P. Calcium sensing receptor gene polymorphism, circulating calcium concentrations and bone mineral density in healthy adolescent girls. *Eur. J. Endocrinol.* 144, 257-261 (2001).
64. Simonen, R. L. *et al.* A dopamine D2 receptor gene polymorphism and physical activity in two family studies. *Physiol Behav.* 78, 751-757 (2003).
65. Loos, R. J. *et al.* Melanocortin-4 receptor gene and physical activity in the Quebec Family Study. *Int. J. Obes. (Lond)* 29, 420-428 (2005).
66. de Moor, M. Exercise behavior and mental health. A genetic perspective. (2008).

67. Zhang, Y. *et al.* Distribution of downstream regulatory element antagonist modulator (DREAM) in rat spinal cord and upregulation of its expression during inflammatory pain. *Neurochem. Res.* 32, 1592-1599 (2007).
68. Vogt, B. A. Knocking out the DREAM to study pain. *N. Engl. J. Med.* 347, 362-364 (2002).
69. <http://www.volkskrant.nl/vk/nl/2698/Sport/article/detail/3030950/2011/11/13-/Hoeveel-harder-kan-het-nog-op-de-marathon.dhtml>.
70. Kosgei, M. & Abmav, W. Cross country training in Kenya. *New Stud Athlet* 4, 53-59 (1988).
71. Scott, R. A. *et al.* Demographic characteristics of elite Ethiopian endurance runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35, 1727-1732 (2003).
72. Hamilton, B. East African running dominance: what is behind it? *Br. J. Sports Med.* 34, 391-394 (2000).
73. Baker, J. & Horton, S. East African running dominance revisited: a role for stereotype threat? *Br. J. Sports Med.* 37, 553-555 (2003).
74. Tesarz, J., Schuster, A. K., Hartmann, M., Gerhardt, A. & Eich, W. Pain perception in athletes compared to normally active controls: A systematic review with meta-analysis. *Pain* 153, 1253-1262 (2012).
75. Doehring, A. *et al.* Effect sizes in experimental pain produced by gender, genetic variants and sensitization procedures. *PLoS One* 6, e17724 (2011).
76. Chen, A. C., Dworkin, S. F., Haug, J. & Gehrig, J. Human pain responsivity in a tonic pain model: psychological determinants. *Pain* 37, 143-160 (1989).
77. <http://www.vspn.nl/sportpsychologie/>.
78. Moormann, P. P. Figure skating and performance. (1994).
79. Dolan, S. H., Houston, M. & Martin, S. B. Survey results of the training, nutrition, and mental preparation of triathletes: practical implications of findings. *J. Sports Sci.* 29, 1019-1028 (2011).
80. Gonzalez-Freire, M. *et al.* Unique among unique. Is it genetically determined? *Br. J. Sports Med.* 43, 307-309 (2009).

Bijlage 1 Interview Miriam van Reijen

Algemene vragen

U heeft de master Human Movement Sciences gevolgd met als specialisatie fysiologie en bent nu bewegingswetenschapper. U schrijft tegenwoordig over wetenschap in combinatie met sport en voeding. Daarnaast bent u marathonloopster. Ofwel, u ondervindt het sporten niet alleen zelf maar u doet er ook onderzoek naar.

Wat is het laatste onderzoek waar u mee bezig was bij het Juliuscentrum UMC te Utrecht?

“Voordat ik besloot om in Kenia te gaan wonen was ik aangenomen bij het Juliuscentrum om een PhD te gaan doen. Dit had betrekking op de relatie tussen beweging en de terugkeer van borstkanker. In de laatste maanden voordat ik naar Kenia vertrok heb ik een pilot-studie opgezet, tevens bij het Juliuscentrum, naar sportvasten, een training waarbij er korte periodes weinig wordt gegeten, maar wel wordt gesport. Dit onderzoek loopt nog.”

Op uw site vond ik een artikel over het drinken van bietensap en een verbeterde prestatie. Gebruikt u de informatie die u tegen komt in wetenschappelijke artikelen bij uw eigen trainingen/leefstijl?

“Ja, zeker. Veel artikelen die ik schrijf gaan over onderwerpen waar ik zelf in eerste instantie vragen over heb of nieuwsgierig naar ben. Ik gebruik bijvoorbeeld ook bietensap in voorbereiding op mijn marathons.”

Hoeveel invloed heeft de wetenschap op u? Stel dat morgen wordt aangetoond dat bietensap toch niet prestatie verhogend werkt, zal u het dan niet meer drinken?

“Het gebeurt regelmatig dat wat één onderzoek aantoont, weerlegd wordt in een ander onderzoek. Ik probeer, voor ik ergens overtuigt van raak, eerst verschillende onderzoeken of reviews te lezen. Maar als er iets nieuws wordt beweerd ben ik wel geneigd om dit direct wel/niet te doen.”

Waar kwam de beslissing vandaan om naar Kenia te verhuizen?

“In 2009, 2010 en 2011 ben ik steeds een maand in Kenia geweest om me voor te bereiden op mijn volgende marathon. Niet alleen merkte ik dat de trainingen daar erg goed waren voor mijn conditie, ik genoot ook enorm van het land, de mensen, de cultuur en het eten. Toen ik er in maart 2011 was, hadden twee Engelse vrienden net besloten in Iten te gaan wonen. Hierna begon het bij mij ook te kriebelen om die stap te zetten. Nadat ik met mijn opdrachtgevers had gesproken heb ik besloten om voor onbepaalde tijd naar Kenia te gaan”.

Merkt u al verschillen aan uw lichaam, bijvoorbeeld aan prestaties, dat uw lichaam zich aan de hoogte van Kenia heeft aangepast?

“Elke keer dat ik terugkeer in Kenia wen ik sneller aan het verschil in zuurstofdruk. Ik kan me herinneren dat mijn allereerste training in Kenia zo zwaar was dat ik het liefst rechtsomkeer maakte. Nu zijn de eerste paar dagen nog even wennen maar gaat het steeds beter. Ook mijn tijden op de baan en in de heuvels hier worden sterker. Ik heb een aantal VO₂ max testen gedaan voordat ik naar Kenia ging en tussendoor. Daaruit bleek ook dat mijn efficiëntie, kracht en VO₂ max vooruit waren gegaan.”

Hoe is het om tussen Kenianen te trainen?

“Geweldig! Ze dagen me zowel mentaal als fysiek enorm uit. Aan de andere kant helpen mijn trainingsmaatjes me enorm en steunen ze me om het beste uit een training te halen. Hier wonen en zien hoe zij leven houd me bovendien een spiegel voor over de Europese (Nederlandse) manier van training en onze nadruk op goede voeding, supplementen en gadgets.”

Bent u, zo ver u nu in de toekomst kunt kijken, nog van plan om ooit terug te keren naar Nederland, tijdens uw hardloopt carrière? Bent u vervolgens niet bang om de aanpassingen van de hoogte van Kenia kwijt te raken?

“Om de twee-drie maanden ben ik een periode in Nederland. Ik denk dat dit juist goed is voor mijn lichaam. Dan moet het zich telkens weer aanpassen aan de hoogte. In Nederland is het ook makkelijker om wedstrijdspecifiek te trainen. Ik haal niet dezelfde snelheid in Kenia als in Nederland tijdens mijn trainingen. Het scheelt zo’n 10 seconde per kilometer. Vooral voor de marathon is belangrijk dat ik veel kilometers op mijn wedstrijdtempo kan lopen. Mijn doel is me te kwalificeren voor de Europese kampioenschappen in 2014. Tot die tijd hoop ik in Kenia te blijven.”

U heeft vast het onderzoek van sportfysioloog Henrik Larsen gevolgd. Hij was met zijn Deense onderzoeksgroep op zoek naar het geheim achter de Keniaanse marathonlopers. Uiteindelijk was hun conclusie dat het geheim in de bouw van de kuit van de Kenianen lag. Ziet u goed het verschil tussen bijvoorbeeld Nederlandse en Keniaanse kuit?**Aangezien u vroeger veel tussen Nederlanders heeft getraind en nu tussen Kenianen.**

“Wat ik heb begrepen is vooral de relatie tussen de spierbuik en de achillespees het verschil tussen Europese en Keniaanse lopers. Waar Europeanen een relatief korte achillespees hebben en een grote, brede spierbuik, hebben Kenianen een veel langere achillespees en een erg korte smalle spierbuik. Hierdoor kunnen ze beter gebruik maken van de elastische energie. Mijn Nederlandse fysio in Kenia (Jeroen Deen, zeker de moeite om contact met hem op te nemen!) geeft aan dat er een verschil bestaat tussen Europese en Keniaanse kuit. Met het blote oog kan ik duidelijk zien dat Kenianen, lange, smalle kuit hebben, vaak niet dikker dan mijn bovenarm.”

Jeugd**Heeft u zich vanaf kinds af aan bezig gehouden met lopen. Heeft u daarnaast nog aan andere sporten deelgenomen?**

“Ik was altijd erg actief als kind en deed bijna alle sporten graag. Vanaf mijn tiende liep ik steeds langere afstanden. Maar heel onregelmatig en zonder trainer. Vanaf 2007 train ik onder begeleiding van mijn coach Rob. Daarvoor heb ik veel gezwommen, gefietst en geklommen.”

Hoe en op welke leeftijd is sport echt belangrijk voor u geworden?

“Sport is altijd iets geweest wat ik graag heb gedaan. Sinds 2007 speelt het echt een prominente rol in mijn leven. Toen heb ik ook mijn studie ontwikkelingseconomie vervolgd met bewegingswetenschappen.”

Welke rol heeft uw omgeving (gezin, familie, vrienden) gespeeld in uw sportprestaties?

“In het begin waren ze niet zo overtuigd dat al dat lopen goed voor me was. Vanaf het moment dat ze zagen hoe gelukkig ik er van werd en dat het steeds beter ging, stonden ze volledig achter me. Nu steunen ze me enorm en komen vaak bij wedstrijden kijken. Mijn vrienden leggen geen druk op me wanneer er feestjes of afspraken zijn die ik door trainingen of wedstrijd niet na kan komen.”

Zijn er nog andere leden in uw familie die goed presteren op sportgebied?

“Nee.”

Wanneer kwam het moment dat u zelf of anderen in uw omgeving doorhadden dat u beter presteerde dan de gemiddelde loper? En hoe voelde dit voor u?

“In 2007 had ik na mijn eerste 10 kilometer een gesprek met een vriend (en sportpsychiater) Bram Bakker. Hij had een boek geschreven over wat sporten met je psyche kon doen waar ik graag met hem over wilde praten. Hij wees me erop dat ik misschien wel eens goed kon worden in hardlopen. Dit gesprek is denk ik cruciaal geweest om te beseffen hoe graag ik wilde hardlopen en presteren. Het voelde een beetje alsof ik gescout werd.”

Doorzettingsvermogen

Het uitlopen van een marathon kan pas wanneer er genoeg doorzettingsvermogen is bij een atleet. U loopt tegenwoordig marathons binnen de 2.41.24 uur dus u moet zeker veel doorzettingsvermogen hebben.

Uit een aantal studies is gebleken dat marathonlopers in de top een hogere pijn tolerantie hebben. Heeft u zelf altijd al een hoge pijn tolerantie gehad of is dit ontstaan door de vele marathons die u heeft gelopen waarbij veel pijn overwonnen moest worden?

“Ik weet niet of ik een hogere pijntolerantie heb dan anderen. Ik denk dat een marathon lopen weinig te maken heeft met het tolereren van pijn. Het gaat erom dat je bereid bent om je goed voor te bereiden, de trainingen te doen, voldoende te rusten zodat je goed voorbereid aan de start staat. Als je voor je gevoel alles hebt gedaan om een goed resultaat te bereiken is het lopen van een marathon juist een heel prettige ervaring. Ik ervaar het niet als pijn maar je moet de signalen van je lichaam, die aangeven dat ze willen stoppen, kunnen negeren. Ik denk dat het mentale aspect daarbij een grote rol speelt. Ik zeg altijd dat een 5.000m vooral je fysieke grenzen opzoekt, een marathon je mentale grenzen.”

Wat is uw eigen idee over doorzettingsvermogen? Is het genetisch bepaald of is het mogelijk om het een atleet als het ware aan te leren?

“Zonder dat ik weet wat de wetenschap over dit onderwerp zegt denk ik dat doorzettingsvermogen gevormd wordt door je opvoeding en je ervaringen. Mijn ouders hebben door me een voorbeeld te geven laten zien wat je kunt bereiken met doorzettingsvermogen. Een aantal dingen die ik gedaan heb als kind lieten me zien dat ik me goed voelde als ik iets bereikte waarvoor ik had geleerd/getraind/gewerkt. Die positieve ervaringen zorgen ervoor dat ik graag lange termijn doelen stel en hiernaar toe werk. Een doel hebben werkt voor mij ontzettend motiverend, helemaal als de weg ernaar toe (trainingen) zo leuk is.”

Heeft u zelf trainingen waarbij specifiek het mentale deel wordt getraind? Of doet u alleen aan fysieke training en leert u op deze manier grenzen verleggen?

“Ik denk dat elke training een belangrijke mentale component in zich heeft. Voor elke pittige training ben ik nerveus en vraag ik me af of het gaat lukken de tijden te lopen die ik voor ogen heb. Met deze spanning om te gaan en elke keer weer terug te keren naar je lichaam is al een mentale training op zich. Daarnaast heb ik hulp van een sportpsycholoog en doe ik aan visualisatie voor belangrijke wedstrijden en trainingen. Hierbij probeer ik me voor te stellen dat ik ontspannen loop, finish in een goede tijd en in flow raak.”

Wat denkt u dat doorslaggevend is bij het behalen van topprestaties op de marathon? Een optimale fysieke bouw of een ijzersterk doorzettingsvermogen?

“Een lastige vraag. Ik denk dat je optimale fysieke bouw volgt uit je trainingen en dat iedereen in principe een marathon kan lopen. Het gaat er vooral om dat je plezier hebt in wat je doet. Negen van de tien keer vind ik het fijn om te gaan trainen en om wedstrijden te lopen. Voor die ene keer heb ik doorzettingsvermogen nodig om toch te gaan.”

Zijn de trainingen die u nu in Kenia loopt zwaarder ten opzichte van die in Nederland? Bijvoorbeeld door het klimaat en de hoogte? Zou dit misschien kunnen verklaren waarom Kenianen een ijzersterk doorzettingsvermogen hebben?

“Ik denk zeker dat de trainingen in Kenia voor mij zwaarder zijn. Met name de heuvels en de hoogte zorgen dat de training zwaarder is. Maar ik denk dat de effectiviteit van elke training daardoor ook groter is. Aangezien de Keniaanse lopers gewend zijn aan de heuvels en de hoogte maakt dit voor hen de training niet zwaarder. Zo lopen Keniaanse lopers slechts 1 a 2 seconden langzamer per kilometer op hoogte dan op zeeniveau. Ik denk dat de omstandigheden waarin ze opgroeien ervoor zorgt dat ze een grote drive hebben om te presteren. Wat ook belangrijk is, is dat er honderden Kenianen proberen door te breken. Ondersteund door hun familie is trainen het enige dat ze doen. In Nederland zijn er slechts een handjevol atleten die full-time bezig (kunnen) zijn met hun sport. Van die honderden breken er uiteindelijk maar enkele echt door.”

Is het niet frustrerend om aan de start te staan naast een aantal Kenianen waarvan u al van te voren weet dat zij als eerste over de finish gaan komen?

“Nee. Ik zie hier in Kenia wat ze er voor doen en laten. Bovendien is lopen voor hun vaak de enige manier om niet te leven in echte armoede. En dan bedoel ik het wel of niet hebben van een maaltijd elke dag. Hoe graag ik ook win, ik gun het ze van harte.”

Heeft u zelf enig idee waarom de Oost-Afrikanen altijd voorop lopen bij een marathon? Ligt het aan hun kuit, hebben zij andere coaching, of komt het door hun etniciteit?

“Ik denk dat het een heel scala is aan factoren die een rol spelen: Hun bouw, hun opvoeding waarbij ze veel lichamelijk actief zijn, de grote voorbeelden die dicht in de buurt zijn (in Iten waar ik woon, wonen een tiental Olympische en wereldkampioenen), hun financiële motivatie, hun bouw, hun ontspannendheid, het klimaat en de manier waarop ze in een groep trainen en elkaar versterken.”

Heeft u nog bepaalde 'rituelen' voor of tijdens de marathon, zoals het eten van een banaan of het dragen van bepaalde sportsokken?

"Ha ha, genoeg! De week voor de marathon begin ik met bietensap een koolhydraatrijke maaltijden. De dag voor de marathon eet ik een simpele pasta met tomatensaus. 's Avonds luister ik naar muziek die ik steeds luister na een goede training of wedstrijd. Op de dag zelf wit brood met pindakaas en honing en pure chocolade. Tijdens de marathon draag ik een speldje dat ik ooit van een goede vriendin heb gekregen en visualiseer ik mijn goede trainingen voorafgaand aan de marathon. Op mijn bidons die ik elke 5km krijg aangereikt schrijf ik spreuken die me motiveren."

Portret

Ik heb de afgelopen weken een literatuurstudie gedaan omtrent marathon lopen. Hierbij heb ik me gefocust op vier sub-onderwerpen: energiehuishouding, zuurstoftransport, bouw van de spieren en doorzettingsvermogen. (Zie bijlage)

Welk van de bovengenoemde sub-onderwerpen (of een ander onderwerp wat er niet bij staat) denkt u dat cruciaal is om goed ontwikkeld te hebben bij het lopen van marathons op topniveau?

"Ik denk dat het kader voeding ook bij kracht/omvang een belangrijke rol speelt. Verder beschouw ik massage en core stability als tevens belangrijke factoren als ook mentale training/begeleiding. Meer dan de bouw van de kuit zou ik de nadruk leggen op de achillespees en zijn ook gewicht en lengte belangrijke factoren."

Aan welke van deze punten werkt u in uw eigen loopbaan om ze zo optimaal mogelijk te maken en op welke manier?

"Elke trainingsvorm heeft een verschillend doel. Zo doe ik tempotrainingen, drempeltrainingen (op de anaerobe drempel), langzame duurlopen, heuveltrainingen, intervallen, krachttraining, core stability en balanstreining om zowel het uithoudingsvermogen als snelheid en kracht te trainen. Mentale training is voor belangrijk voor de emotionele staat tijdens wedstrijden. Ik krijg hulp van een medisch centrum (Maxima Medisch Centrum in Eindhoven) voor fysieke klachten en heb zowel in Kenia als in Nederland een fysiotherapeut waar ik terecht kan. Ik let goed op mijn, nachtrust en supplementen zodat ik optimaal herstel na trainingen."

Hoe denkt u dat de verhouding ligt tussen genetische aanleg en omgevingsfactoren in percentages?

"Ik denk dat genetische aanleg slechts een kleine rol speelt maar dat je activiteiten op jonge leeftijd, je ervaringen en je doelen belangrijker zijn. Ik zou zeggen 20-80."

Bijlage 2 Interview Thomas Waanders

Thomas Waanders is sportpsycholoog en bewegingswetenschapper.

Kunt u een omschrijving geven van uw beroep als sportpsycholoog?

“Het bieden van mentale training (systematisch ontwikkelen van mentale vaardigheden zoals motivatie, zelfvertrouwen, concentratie, etc.) en mentale begeleiding (keuzes maken, effectieve communicatie, etc.).”

Bent u daarnaast nog actief als Bewegingswetenschapper? Zo ja, waar ging uw laatste onderzoek over?

“Nee ik werk momenteel niet als bewegingswetenschapper.”

Van welk niveau zijn de sporters en coaches die bij u komen? Komen er recreatieve sporters langs met persoonlijk doelen, bijvoorbeeld het uitlopen van een marathon?

“Ik ben pas sinds kort begonnen als sportpsycholoog (overigens ben ik nog bezig om mijn accreditatie te halen). Ik begeleid momenteel een marathonloopster (nationaal niveau). Ook kwamen er toevallig twee recreatieve sporters langs afgelopen week, die overwogen om de marathon van New York te gaan lopen.”

Hoe stel ik me een sessie voor tussen een sporter en een sportpsycholoog? Bestaat de sessie vooral uit oefeningen of het bespreken van problemen waar de sporter mee zit?

“Dat hangt af van de hulpvraag van de sporter. Sessies kunnen variëren van het voeren van een gesprek tot het uitvoeren van opdrachten, zowel in een kantoorsetting als op het sportveld/zwembad.”

Krijgen de sporters bepaalde oefeningen mee naar huis? Verschillen de oefeningen tussen sporters of zijn ze van dezelfde aard?

“Ja als je mentale vaardigheden wilt trainen, zul je die systematisch (dus met regelmaat) moeten trainen. Daar horen dus ook trainingsopdrachten bij voor thuis. De oefeningen verschillen inderdaad tussen sporters (leeftijd, soort sport, type sporter).”

Is het van belang dat alle sporters op hoog niveau begeleiding zouden moeten krijgen van een sportpsycholoog?

“Jazeker!”

Kan het doorzettingsvermogen door training toenemen of is het iets wat een sporter al in zich moet hebben?

“Nature vs nurture dus? Het is in ieder geval trainbaar. In welke mate het aangeboren is weet ik niet.”

Welke psychologische factoren bepalen een topprestatie?

“Hangt af van de soort sport. Bij de ene sport moet je je goed kunnen ontspannen (boogschieten) en bij andere sporten is het omgaan met vermoeidheid (marathon) weer belangrijk. Over het algemeen zou je wel kunnen zeggen dat zelfvertrouwen erg belangrijk is.”

Wat is de rol van de coaches, vrienden en familieleden? Kunt u hen ook op een bepaalde manier begeleiden waardoor dit een positief effect kan hebben op de prestatie van een sporter?

“Alle belangrijke mensen in je omgeving hebben een grote invloed op het functioneren en allen zouden baat kunnen hebben bij sportpsychologische/mentale begeleiding.”

Zou het volgens u kunnen dat de Kenianen vaak winnen doordat zij een extra drang hebben om te winnen, aangezien ze het prijzengeld hard nodig hebben vanwege de armoede in hun land?

“Niet als je de winnaar van de 5000m op de NK van afgelopen weekend mag geloven.”

Hypothese: Het zou zo kunnen zijn dat blanke mensen het vooroordeel over de Kenianen eerder bij zich houden, dan de feiten die het wel of niet bevestigen. Dit zou betekenen dat blanken mensen er vanuit gaan dat Kenianen voordeel hebben bij het lopen van de marathon, waardoor ze zichzelf als het ware al achter de Kenianen plaatsen. Het tegenovergestelde geldt voor de Kenianen. Zij lopen namelijk met de gedachte dat ze de atleten van niet-Keniaanse afkomst er uit zullen lopen. Kunt u zich vinden in deze stelling? Speelt dit mee bij marathonlopers of andere sporters?

“Bepaalde verwachtingen/overtuigingen spelen altijd een belangrijke rol (al weet ik niet of deze verwachting ook speelt bij marathonlopers). Belangrijk voor mij is om mijn sporters op dit soort (kern)overtuigingen bewust te maken! Weleens van het Bannister-effect gehoord?”

Wat denkt u dat doorslaggevend is bij het behalen van een hele snelle tijd op de marathon? Een optimale fysieke bouw of mentaal heel goed ontwikkeld zijn?

“Ik denk dat beide zeer belangrijk zijn!”

Sporters hebben vaak bepaalde ‘rituelen’ voor of tijdens het lopen van een wedstrijd, zoals het eten van een banaan of het dragen van bepaalde sportsokken. Op welke manier hebben dit soort ‘rituelen’ effect op een sporter?

“Er is een verschil tussen bijgeloof en een mentale wedstrijdroutine. Als ik mee doe met een evenement probeer ik mijn voorbereiding op de wedstrijd goed te plannen, maar ik heb geen routine zoals ik die met sporters wel uitstippel. Een goede routine is erg belangrijk denk ik, al verschilt dat ook weer per sporter.”

Ik heb de afgelopen weken een literatuurstudie gedaan omtrent marathon lopen. Hierbij heb ik me gefocust op vier sub-onderwerpen: energiehuishouding, zuurstoftransport, bouw van de spieren en doorzettingsvermogen. (Zie bijlage)

Welk van de bovengenoemde sub-onderwerpen (of een ander onderwerp wat er niet bij staat) denkt u dat cruciaal is om goed ontwikkeld te hebben bij het lopen van marathons op topniveau?

"Ik denk dat je de eerste 30-35km kunt lopen op een goed fysiek gestel, maar dat je de laatste 7-12km loopt het doorzettingsvermogen. Dat heb je overigens ook nodig om een x aantal km's te lopen in de voorbereiding op een marathon."

Hoe denkt u dat de verhouding ligt tussen genetische aanleg en omgevingsfactoren in percentages?

"Fysiek: 70-30%

Mentaal: 30-70%

Al moet ik zeggen dat deze percentages nergens op zijn gebaseerd, behalve op mijn eigen ervaringen."

Bijlage 3 Interview met Marleen de Moor

U heeft zich op het gebied van onderzoek gericht op de genetica van leefstijl en geestelijke gezondheid. Hierbij heeft u onder andere onderzoek gedaan naar sportgedrag en het welbevinden daarvan. Zo bent u in 2009 gepromoveerd met het proefschrift 'Exercise behavior and mental health. A genetic perspective'. Ofwel, u heeft kennis van de relatie van genetische factoren en omgevingsfactoren op verschillende verschijnsels.

Wat is het laatste onderzoek waar u aan mee heeft gewerkt?

"Op dit moment doe ik onderzoek naar de relatie tussen persoonlijkheid en sportgedrag. Ik toets of persoonlijkheidskenmerken zoals extraversie en spanningsbehoefte het sportgedrag causaal beïnvloeden. Dit onderzoek in een grote steekproef van tweelingen tussen de 17 en 30 jaar. Van die groep weten we dat zowel hun sportgedrag sterk veranderd (afname) en hun persoonlijkheid nog in ontwikkeling is. Het zou dus ook kunnen dat deelname aan sport helpt de persoonlijkheid te vormen. Een andere verklaring voor de relatie is dat dezelfde genen het sportgedrag en de persoonlijkheid beïnvloeden. Mijn resultaten laten zien dat persoonlijkheid het sportgedrag inderdaad causaal beïnvloedt, maar dat daarnaast ook een deel van de relatie verklaard wordt door gedeelde genen. We vonden geen bewijs voor het omgekeerde effect dat het sportgedrag de persoonlijkheid causaal beïnvloedt."

Hoe belangrijk is het volgens u om zowel genetische als omgevingsfactoren te bestuderen?

"Heel belangrijk. Als je onderzoek doet naar omgevingsfactoren kan je eigenlijk de genetische factoren niet buiten beschouwing laten (als de kenmerken die je bestudeert erfelijk zijn natuurlijk, en dat geldt in ieder geval wel voor sportgedrag en -prestatie). Een deel van het verband tussen een omgevingsfactor en de uitkomstmaat kan namelijk verklaard worden door gedeelde genen (zoals ik hierboven heb beschreven). Ook kan het zijn dat het effect van de omgeving afhangt van de genen. Dit wordt gen-omgevingsinteractie genoemd. Een goed voorbeeld is training en VO_2 max. Het is aangetoond dat het effect van training op de verbetering van de VO_2 max verschilt voor mensen met verschillend genotype. Sommige mensen reageren sterk op training en laten een snelle verbetering in VO_2 max zien, terwijl dit effect voor anderen uitblijft of minimaal is. Het bestuderen van die genetische verschillen voegt dus hele belangrijke informatie toe!"

In uw proefschrift heeft u het over genen die op chromosoom 3 en 4 liggen die mogelijk een verband hebben met sportgedrag van personen en de mate hoe ver zij in de top van de sport belanden. Om welke genen gaat het hier? Waarom zijn juist deze genen cruciaal om ver in een sport te komen? Gaat het hier om alle sporten, dus zowel boksen als hardlopen?

"In mijn proefschrift heb ik gevonden dat er 2 regio's op het genoom zijn die mogelijk samenhangen met de status van atleten. Deze regio's liggen inderdaad op chromosoom 3 en 4. In die regio's lagen twee interessante genen die eerder ook aan sportfenotypes gekoppeld zijn: UCP1 en FABP2. Het FABP2 gen is betrokken bij metabole processen. Het zou dus goed kunnen dat mensen met een bepaalde variant in FABP2 een andere energiehuishouding hebben die

gunstig is voor sportprestatie. Meer onderzoek is op dit moment nog wel nodig om mijn bevindingen te repliceren (zijn deze genen echt betrokken bij sportprestatie?), en ook is meer functioneel onderzoek nodig om te begrijpen via welke mechanismen en biologische processen deze genen een invloed kunnen hebben op sportprestatie.”

U heeft het ook over genen die op chromosoom 19 liggen op locus p13.3 en effect hebben op de bloedvoorziening van de spieren en kracht in de spieren. Bedoelt u hier het VEGFR-II gen en IGF-gen mee?

“Nee die genen bedoel ik niet. Op regio 19p13.3 liggen een aantal genen die mogelijk betrokken zijn bij bloedvoorziening naar de spieren en spierkracht, maar het aantal studies naar deze regio en genen is klein. Meer onderzoek is nodig om vast te stellen of deze genen echt betrokken zijn, en hoe.”

De eigenschap doorzettingsvermogen is lastig te onderzoeken. Zo is het moeilijk om te bepalen welke genen betrokken zijn bij deze eigenschap. Wat is uw eigen idee over doorzettingsvermogen? Is het genetisch bepaald of is het mogelijk om het atleten als het ware aan te leren?

“Doorzettingsvermogen kan je beschouwen als een persoonlijkheidstrekk. We weten dat alle persoonlijkheidstrekken voor een deel genetisch zijn, maar ook door de omgeving bepaald zijn. Doorzettingsvermogen is een onderdeel van de bredere persoonlijkheidstrekk consciëntieusheid. Voor consciëntieusheid hebben we aangetoond dat het ongeveer voor 40-50% erfelijk is. We zijn ook bezig met het vinden van de genen voor consciëntieusheid (en mogelijk dus ook voor doorzettingsvermogen), en hebben tot nu toe 1 gen gevonden (KATNAL2B) die in ieder geval tot expressie komt in de hersenen, maar waar we verder nog maar heel weinig van weten. Het gen is recent ook in verband gebracht met autisme. Het feit dat er genen zijn die doorzettingsvermogen of andere persoonlijkheidstrekken bepalen betekent overigens niet dat het niet aan te leren valt. Doorzettingsvermogen kan zeker ook getraind worden. Daarvoor geldt echter wel weer dat dit bij iemand met weinig genetische aanleg moeilijker zal zijn dan bij iemand met veel genetische aanleg. Het gaat er eigenlijk om mensen met genetische aanleg voor sport een zo optimale omgeving aan te bieden (o.a. in de training) zodat het maximale uit iemands genetische potentiaal gehaald wordt en iemand dus maximaal kan presteren.”

Wat denkt u dat doorslaggevend is bij het behalen van topprestaties op de marathon? Een optimale fysieke bouw of mentaal heel goed ontwikkeld zijn?

“Ik denk dat beide vereist zijn. Iemand met een optimale bouw die niet om kan gaan met een strak trainingsschema of wedstrijdspanning kan nooit een toppresterder worden. Omgekeerd wordt ook lastig: iemand die mentaal alle wilskracht heeft om te winnen, maar fysiek niet geschikt is kan ook geen marathon winnen.”

Zou het volgens u kunnen dat de Kenianen vaak winnen doordat zij een extra drijfveer hebben om te winnen, aangezien ze het prijzengeld hard nodig hebben vanwege de armoede in hun land?

“Dat kan zeker een factor zijn, maar hun fysieke bouw speelt hier denk ik ook een belangrijke rol in.”

Portret

Ik heb de afgelopen weken een literatuurstudie gedaan omtrent marathon lopen. Hierbij heb ik me gefocust op vier sub-onderwerpen: energiehuishouding, zuurstoftransport, bouw van de spieren en doorzettingsvermogen. (Zie bijlage)

Welk van de bovengenoemde sub-onderwerpen (of een ander onderwerp wat er niet bij staat) denkt u dat cruciaal is om goed ontwikkeld te hebben bij het lopen van marathons op topniveau?

“Alle vier zijn belangrijk.”

Denkt u dat dit schema de belangrijkste genen en omgevingsfactoren omvat? Of mist u een aantal factoren en zo ja, welke?

“De belangrijkste factoren zitten er in. Wel denk ik dat ik sommige paden anders zou trekken. Het ACE gen heeft bijvoorbeeld te maken met het reguleren van bloeddruk en de bloedcirculatie, en niet zozeer met het mentale vlak. Het MC4R gen komt tot expressie in de hypothalamus en is betrokken met energie homeostase (balans tussen energie inname en verbranding), en zou ik dus eerder bij de energiehuishouding plaatsen. Het DRD2 gen bijvoorbeeld is gelinkt aan dopamine systemen die samenhangen met gevoeligheid voor beloning, en is dus wel een gen dat invloed heeft op het mentale vlak.”

Hoe denkt u dat de verhouding ligt tussen genetische aanleg en omgevingsfactoren in percentages? En kunt u ook uitleggen hoe u op deze percentages komt?

“Voor sportgedrag en verwante fenotypes als bijvoorbeeld sportprestatie en uithoudingsvermogen zien we over het algemeen dat grofweg de helft van de verschillen tussen mensen verklaard wordt door genen en de andere helft door omgevingsfactoren. Dit zien we in ieder geval zo bij studies naar volwassenen, bij kinderen en (jonge) adolescenten lijkt de invloed van omgeving (en dan met name de omgeving die kinderen binnen dezelfde familie delen) veel belangrijker. Deze percentages komen meestal uit tweelingstudies. Hierbij vergelijken we hoe twee helften binnen hetzelfde tweelingpaar gemiddeld genomen op elkaar lijken. We maken onderscheid tussen eeneiige en twee-eiige tweelingparen. Eeneiige tweelingparen delen hun familieomgeving en al hun genetisch materiaal. Twee-eiige tweelingparen delen hun familieomgeving en de helft van hun genetisch materiaal. Als eeneiige tweelingen dus meer op elkaar lijken dan twee-eiige tweelingen (binnen paren), dan moet dat wel komen doordat eeneiige tweelingen genetisch meer op elkaar lijken dan twee-eiige tweelingen. Het is overigens belangrijk om erbij te zeggen dat deze percentages dus iets zeggen over groepen mensen, en niet per se over individuen. Doel van tweelingonderzoek is om verschillen tussen mensen te verklaren. Een erfelijkheid van 50% betekent dus dat verschillen tussen mensen voor 50% toe te schrijven zijn aan het feit dat deze mensen genetisch van elkaar verschillen. Je kan niet zeggen dat het feit dat iemand topatleet is voor 50% door zijn of haar genen komt. Genen kunnen welk verklaren waarom deze persoon topatleet is geworden, en een ander niet!”

Bijlage 4 Interview Karin de Bruin

Kunt u een omschrijving geven van uw beroep als sportpsycholoog?

“Sportpsychologen houden zich bezig met het verklaren, voorspellen en beïnvloeden van gedrag, gedachten en emoties in sportsituaties.”

Van welk niveau zijn de sporters en coaches die bij u komen? Komen er ook wel eens recreatieve sporters langs met persoonlijk doelen, bijvoorbeeld het uitlopen van een marathon?

“Meestal betreft het getalenteerde sporters of topsporters, omdat die er de tijd, energie en geld in willen steken. Incidenteel zie ik ook een serieuze recreant of mensen die Alpes d’Huzes oid gaan ondernemen. Naast de sport begeleid ik ook mensen uit dans en muziek, luchtverkeersleiding en heeft er zelfs eens een kapster aangeklopt die wedstrijden knipt.”

Hoe stel ik me een sessie voor tussen een sporter en een sportpsycholoog? Bestaat de sessie vooral uit oefeningen of het bespreken van problemen waar de sporter mee zit?

“Beiden.”

Krijgen de sporters bepaalde oefeningen mee naar huis? Verschillen de oefeningen tussen sporters of zijn ze van dezelfde aard?

“Sporters krijgen ook huiswerk mee. Ik pas deze opdrachten aan de individuele sporter aan.”

Is het van belang dat alle sporters op hoog niveau begeleiding zouden moeten krijgen van een sportpsycholoog?

“Ja, mentale aspecten maken een groot deel van een wedstrijdverloop uit, maar krijgen maar weinig aandacht in de dagelijkse training. Met mentale training versterk je je mentaal. Dat is voor iedereen nuttig, ook voor sporters zonder problemen.”

Een paar dagen voor de wedstrijd, de wedstrijd alvast visualiseren, schijnt goed te werken op de prestatie. Hoe werkt het principe van visualisering?

“Daar zijn verschillende verklaringen voor: het spiergeheugen wordt geactiveerd (techniek), de arousal wordt aangewakkerd (fysieke en mentale voorbereiding), er vindt symbolisch leren plaats (tactiek), er is sprake van het doormaken van emoties (mentale training). Voorwaarde is wel dat je op de juiste manier visualiseert, bijv. met zoveel mogelijk zintuigen te gebruiken, op de juiste snelheid, met een intern perspectief alsof je het echt meemaakt etc. Dat is wat wij trainen in mentale training.”

Kan het doorzettingsvermogen door training toenemen of is het iets wat een sporter al in zich moet hebben?

“Doorzettingsvermogen is m.i. een aangeboren temperament. De bandbreedte van de verandermogelijkheden zijn daarmee enigszins beperkt. Je kunt wel m.b.v. doelen stellen, evaluatie, beloning, positieve zelfspraak/gedachtetraining een aantal mentale vaardigheden versterken waarmee je doorzettingsvermogen kan versterken.”

Welke psychologische factoren bepalen een topprestatie?

“Dat zijn er vele. Er is onderzoek gedaan door Orlick & Partington o.a. die toppers met niet-toppers vergelijkt. Factoren die het verschil maken zijn o.a. motivatie, doorzettingsvermogen, doelen stellen, visualisatie, focussen, omgaan met afleiding, positieve zelfspraak, emotiecontrole,, zelfvertrouwen.”

Wat is de rol van de coaches, vrienden en familieleden op de psychologie van sporters? Kunt u hen ook op een bepaalde manier begeleiden waardoor dit een positief effect kan hebben op de prestatie van een sporter?

“De rol van de omgeving is groot. Ouders zijn cruciaal in de talentontwikkeling. Ook op factoren als motivatie, zelfvertrouwen is de sociale invloed zeer groot. Als sportpsycholoog betrek je de omgeving bij de begeleiding als dat kan om hen voor te lichten over bijv. het nut van effectieve/positieve taakgerichte coaching.”

Zou het volgens u kunnen dat de Kenianen vaak winnen doordat zij een extra drang hebben om te winnen, aangezien ze het prijzengeld hard nodig hebben vanwege de armoede in hun land?

“Ik kijk meer naar psychologische verklaringen dan culturele/sociologische verklaringen. De wil om te winnen e.d. kan natuurlijk wel zijn ingegeven door extrinsieke motivatie en het zoeken naar erkenning, waardering en prijzengeld. Al schoppen sporters met intrinsieke motivatie het volgens onderzoek meestal verder. Dus deze hypothese vind ik niet zo aannemelijk.”

Hypothese: Het zou zo kunnen zijn dat blanke mensen het vooroordeel over de Kenianen eerder bij zich houden, dan de feiten die het wel of niet bevestigen. Dit zou betekenen dat blanken mensen er vanuit gaan dat Kenianen voordeel hebben bij het lopen van de marathon, waardoor ze zichzelf als het ware al achter de Kenianen plaatsen. Het tegenovergestelde geldt voor de Kenianen. Zij lopen namelijk met de gedachte dat ze de atleten van niet-Keniaanse afkomst er uit zullen lopen. Kunt u zich vinden in deze stelling? Speelt dit mee bij marathonlopers of andere sporters?

“Ik ken wel de negatieve invloed van upward comparisons (jezelf systematisch de mindere vinden). Dit kan goed ook een culturele component hebben.”

Wat denkt u dat doorslaggevend is bij het behalen van topprestaties op de marathon? Een optimale fysieke bouw of mentaal heel goed ontwikkeld zijn?

“Ik zou denken beiden.”

Sporters hebben vaak bepaalde ‘rituelen’ voor of tijdens het lopen van een wedstrijd, zoals het eten van een banaan of het dragen van bepaalde sportsokken. Op welke manier hebben dit soort ‘rituelen’ effect op een sporter? Gaat het om houvast hebben?

“Het gaat inderdaad om houvast hebben en controle willen uitoefenen. We streven met sporters ook naar het ontwikkelen van vaste routines, maar dan wel bestaande uit technieken en elementen waarvan het nut bewezen is (en dus geen bijgeloof e.d.).”

Ik heb de afgelopen weken een literatuurstudie gedaan omtrent marathon lopen. Hierbij heb ik me gefocust op vier sub-onderwerpen: energiehuishouding, zuurstoftransport, bouw van de spieren en doorzettingsvermogen. (Zie bijlage)

Welk van de bovengenoemde sub-onderwerpen (of een ander onderwerp wat er niet bij staat) denkt u dat cruciaal is om goed ontwikkeld te hebben bij het lopen van marathons op topniveau?

"Ik zou denken dat ze allemaal van belang zijn; ik ben wel benieuwd naar jouw resultaten!"

Hoe denkt u dat de verhouding ligt tussen genetische aanleg en omgevingsfactoren in percentages?

"Beiden spelen een rol, de verhouding houd ik op 50-50. Al overschat ik hier waarschijnlijk de omgevingsfactoren enigszins, maar dat ben ik gezien mijn vak ook wel verplicht."

Bijlage 5 Interview Jeroen Coenemans

Jeroen Coenemans is Biologie docent aan het Rotterdams Montessori Lyceum in Rotterdam.

Dat genen en omgeving vaak beide van invloed zijn is niet nieuw in het biologieonderwijs, maar echt concrete voorbeelden hoe die invloed verloopt zijn er maar weinig. Door een gedetailleerde uitwerking van de invloed van genen en omgeving te geven op een bepaalde situatie, hopen we dat docenten biologie in hun onderwijs geholpen worden om hier meer aandacht aan te besteden.

Vindt u de interactie tussen genen en omgeving een belangrijk onderdeel van het geneticaonderwijs?

“Ja, dat is heel erg belangrijk. De laatste vier a vijf jaar wordt er ook meer aandacht besteed aan het epigenetica onderwijs. Vroeger waren het vooral de harde feiten: een gen codeert voor een eiwit en dat bepaalt een eigenschap. Ziektes leken alleen ontstaan te zijn door een mutatie in 1 gen, terwijl omgevingsfactoren ook een grote rol spelen. In het onderwijs werden alleen kruisschema's behandeld en de Hardy-Weinberg wet. Voor leerlingen zijn dit dingen die niet te begrijpen zijn. Het is moeilijk om dit als docent begrijpbaar voor ze te maken in plaats van dat ze systematisch de wet invullen.”

Besteedt u nu in uw onderwijs aandacht aan de interactie tussen genen en omgeving en zo ja hoe en met welke voorbeelden?

“Er hangt tegenwoordig een poster 'Human genome landmarks' in het Biologie lokaal. Hierop staan alle chromosomen afgebeeld met mutaties die in genen voorkomen die geassocieerd zijn met bepaalde ziekten. 'Zwakke genen' heeft iedereen, maar die komen pas tot uiting bij bepaalde omstandigheden. Zo ook diabetes. Ik bespreek met mijn leerlingen dat je een grotere kans kunt hebben op diabetes als je hier een 'zwak gen' voor hebt. Diabetes ontwikkelt zich meestal pas bij een slecht voedingspatroon. Zo kunnen sommige mensen een 'zwak gen' hebben, maar door hun gezonde levensstijl nooit last krijgen van diabetes. In het examen van dit jaar werd ook een vraag gesteld omtrent genen en omgeving. Dus er wordt wel steeds meer aandacht besteed, aangezien er steeds vaker een relatie te zien is tussen omgeving en genen. Met 5 VWO gaan we ieder jaar naar de Seminars Neuroscience aan de Erasmus in Rotterdam. Hier krijgen zij ook te maken met voorbeelden die tot stand komen door genetische factoren en omgevingsfactoren. Zo hoeft een vitamine D deficiëntie helemaal niet naar voren te komen bij een goed dieet. Wanneer er niet goed gegeten wordt kan geconstateerd worden dat iemand aan een vitamine D deficiëntie leidt. Dit kan vervolgens leiden tot botontkalking. Daarnaast zijn er nog veel meer voorbeelden zoals ADHD, Diabetes en Spierdystrofie. Deze voorbeelden geven leerlingen een duidelijk beeld, wat niet wordt behaald met de Hardy-Weinberg wet.”

Denkt u dat de leerlingen gemotiveerd zijn om te leren over een complex beeld, zoals een goede prestatie op de marathon?

“Dat denk ik zeker. Sport is een onderwerp wat veel leerlingen treft. Leerlingen vinden onderwijs leuk als het tastbaar is en dichtbij hen zelf ligt. Het is makkelijker voor leerlingen om voor te stellen dat een sporter een goed dieet moet hebben, genoeg moet trainen, maar dat je het

ook niet aan de top redt als je een zware lichaamsbouw hebt doordat je deze bouw van je ouders hebt geërfd.”

Denkt u dat het portret, wat ik met mijn scriptie heb gemaakt, voldoende en geschikte informatie biedt voor leerlingen en docenten?

“Het schema is heel erg duidelijk en goed opgebouwd. Biologie docenten kunnen hier zo mee aan de slag!”

Is het een bezwaar voor gebruik in het onderwijs als bepaalde relaties in het portret nog onduidelijk zijn?

“Een aantal vraagtekens is geen probleem. In dit schema zijn het er bijvoorbeeld niet te veel. De vraagtekens die er staan zijn goed te verklaren en te begrijpen voor leerlingen. Wanneer er teveel vraagtekens in het schema staan wordt het te vaag en begrijpen leerlingen het vaak niet meer.”

Op welke manier zou u dit portret en de informatie daaromheen kunnen gebruiken in uw onderwijs?

“Leerlingen vinden het leuk om schema's in te vullen als een soort kruiswoordpuzzels. Een idee zou kunnen zijn om een leeg schema te tonen aan de leerlingen met daarin wel de hoofdkopjes: energiehuishouding, zuurstoftransport, spieren en het mentale gedeelte. Vervolgens kunnen de leerlingen opgedeeld worden in verschillende groepjes. Ieder groepje kan bijvoorbeeld in een week tijd op zoek gaan naar genen en omgevingsfactoren die een relatie hebben met het subonderwerp waar ze zich mee bezig moeten houden. Aan het eind van de week kunnen de leerlingen een presentatie geven over hun deel aan de rest van de klas. Nadat alle groepjes hun presentatie hebben gegeven kan het gehele schema met de klas worden ingevuld wat als een soort samenvatting van de week kan dienen.”

Zijn er gegevens die u nog mist om hierover onderwijs te kunnen geven?

“De docenten hebben in principe genoeg informatie om het schema te begrijpen. Wanneer leerlingen vast lopen is het wel handig dat de leraren genoeg achtergrondinformatie hebben om ze verder op weg te helpen. Een docenten handleiding met uitleg per factor zal dus wel van pas komen.”

Schema 4. Model marathonloper

