

In een eerder artikel in Sportgericht (nummer 4/2010) hebben we laten zien dat het mogelijk is om heel nauwkeurig zweef- en contacttijden te meten tijdens (herhaald) springen en lopen met behulp van kleine versnellingssensoren, die met sporttape op de voet worden vastgezet. In dit artikel beschrijven we in hoeverre ervaren en onervaren lopers tijdens lopen op een voor hen comfortabele loopsnelheid automatisch de pasfrequentie kiezen waarbij hun energiegebruik minimaal is.

Running economy en pasfrequentie

**Jo de Ruiter, Wout Werker
& Menno Zuidema**

Foto: Mark Leeman

De maximale zuurstofopnamecapaciteit ($VO_2\max$) is beperkt trainbaar en bovendien hebben goed getrainde topatleten onderling zeer vergelijkbare waarden. Op topniveau blijkt de $VO_2\max$ dan ook niet de doorslaggevende prestatiebepalende factor te zijn als het om duurinspanning gaat (voor referenties zie⁵). Er is wel eens geopperd dat Afrikaanse lopers een betere 'running economy' hebben dan hun blanke collega's, dat wil zeggen: dat ze op een bepaalde snelheid minder energie gebruiken. Of anders gesteld: dat zij met dezelfde hoeveelheid energie een grotere afstand overbruggen.⁴ Running economy blijkt inderdaad een heel belangrijke prestatiebepalende factor te zijn, die door verschillende subfactoren wordt beïnvloed. Het is belangrijk op te merken dat de running economy nauwelijks afhankelijk is van de loopsnelheid. In elk geval niet zolang de loopsnelheid onder de anaerobe drempel blijft.³

Pasfrequentie

Pasfrequentie is een parameter die te maken heeft met coördinatie en looptechniek. Als we bij gelijk blijvende loopsnelheid met een te lage of te

hoge pasfrequentie lopen (met andere woorden: met relatief te grote of juist te kleine passen) gaat het energiegebruik omhoog en wordt de running economy dus slechter. Goed getrainde lopers blijken over het algemeen te lopen met een optimale pasfrequentie. Wanneer we naar de loopstijl van recreatieve lopers kijken, is het echter moeilijk voorstelbaar dat ieder van hen zich ook op de voor hem of haar meest economische manier voortbeweegt. In het huidige onderzoek hebben we daarom de running economy van ervaren en onervaren lopers vergeleken. We hebben vooral onderzocht in hoeverre – bij een gelijkblijvende loopsnelheid – de voorkeurspasfrequentie van de verschillende deelnemers afweek van de energetisch optimale frequentie.

Meetinstrumenten

De pasfrequentie en contacttijden zijn tijdens het lopen gemeten met een draadloze versnellingssensor (4.5 x 3.0 x 1.8 cm, 29 gram totaalgewicht) die op de schoen (bovenop de tenen) met sporttape werd vastgezet. De instantane pasfrequentie (in passen per minuut) is in dit onderzoek bepaald door 60 seconden te delen door de tijd

parameter	onervaren lopers	ervaren lopers
leeftijd (jaren)	23.8 ± 1.7	25.0 ± 3.3
lengte (cm)	183.0 ± 8.2	188.5 ± 6.2
gewicht (kg)	76.4 ± 12.1	74.0 ± 7.9
BMI (kg/cm ²)	22.8 ± 3.4	20.8 ± 1.7
vetpercentage (%)	17.0 ± 4.0	14.0 ± 2.5
volume onderbeen (L)	3.9 ± 0.6	3.7 ± 0.4
beenlengte (cm)	103.2 ± 4.5	107.2 ± 4.1
momentsarm Achillespees (cm)	4.4 ± 0.3	4.3 ± 0.3
minimaal mogelijke enkelhoek (°)	64.2 ± 5.9	63.8 ± 5.8
drempelsnelheid (km/h)	12.0 ± 1.2	15.7 ± 1.3**
running economy (VO ₂ ml·kg ⁻¹ ·m ⁻¹)	.229 ± .031	.188 ± .010*
Gemiddelden ± SD, *p < .05; **p < .01 significant verschil tussen de groepen		

Tabel 1: gegevens van de proefpersonen.

die er zat tussen de landingen van de rechtervoet. Vervolgens werd de gemiddelde waarde van deze instantane pasfrequentie bepaald over dezelfde minuut waarin ook de gemiddelde zuurstofopname en hartslag werden gemeten.

Deelnemers

Tien gezonde, maar niet loopgetrainde mannen werden vergeleken met tien goed getrainde lopers. De niet lopers trainden in elk geval meer dan één keer per week voor een andere sport, maar deden geen van allen vaker dan

hooguit één keer per maand iets wat op een duurloopje leek. De ervaren lopers trainden minimaal drie keer per week specifiek op lopen en deden mee aan wedstrijden op regionaal en nationaal niveau op afstanden die varieerden van 800 meter tot de marathon (42,2 km). De gemiddelde (± SD) beste tijd op de 10 km in deze groep was 34 min 53 sec (± 85 sec).

De deelnemers zijn allen twee maal gemeten om de reproduceerbaarheid te bepalen. Tijdens de testen liep iedereen op zijn eigen comfortabele loopsnelheid (onder de anaerobe drempel)

variabele	onervaren (n=10)	ervaren (n=10)	totale groep (n=20)
BMI	0.24	0.71*	0.46*
vetpercentage	0.05	0.60	0.38
gewicht (kg)	-0.08	0.35	0.08
minimaal mogelijke enkelhoek	0.47	0.35	0.31
momentsarm Achillespees	-0.33	-0.18	-0.10
onderbeenlengte	-0.23	-0.67*	-0.30
beenlengte	-0.17	-0.74*	-0.48
volume onderbeen	0.31	0.20	0.31
*p < .05			

Tabel 2: Correlatiecoëfficiënten tussen antropometrische variabelen en running economy tijdens lopen op de voorkeurspasfrequentie.

en werd de voorkeurspasfrequentie gemeten. Vervolgens werden met een metronoom in blokken van twee minuten verschillende pasfrequenties (waaronder ook de voorkeursfrequentie) opgelegd en werd daarbij het zuurstofgebruik gemeten.

Resultaten

In tabel 1 is te zien dat er in lichaams-samenstelling en -bouw geen noemenswaardige verschillen tussen de beide groepen zaten. Zoals verwacht was de loopsnelheid bij de anaerobe drempel significant lager bij de onervaren lopers en was de running economy van onervaren lopers met hun zelfgekozen (voorkeurs)pasfrequentie slechter (= hogere waarde) dan die van de ervaren lopers (zie tabel 1).

Conclusie

Ervaren lopers lopen veel zuiniger dan niet ervaren lopers

Invloed van lichaamsbouw

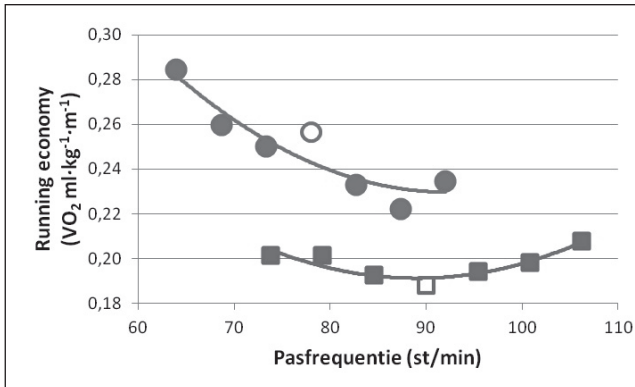
Binnen de groep ervaren lopers ging een laag vetpercentage (en BMI) gepaard met een wat betere running economy. Ook het hebben van lange benen was gunstig (zie tabel 2). Opvallend genoeg werden deze relaties niet gevonden in de groep onervaren lopers. Kennelijk zijn andere factoren (looptechniek, pasfrequentie?) meer bepalend voor de running economy in deze groep.

Conclusies

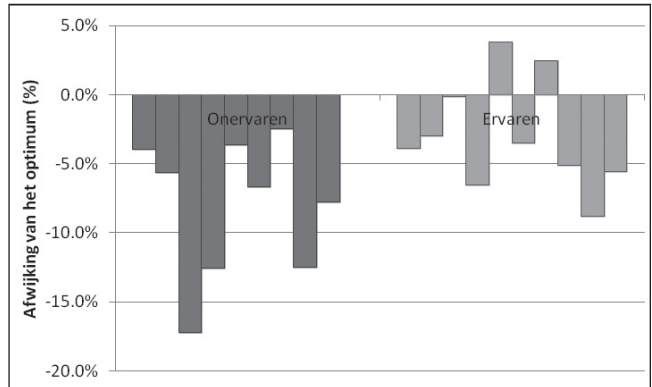
Voor ervaren lopers lijken een laag vetpercentage en het hebben van lange benen energetisch voordelig; Bij onervaren lopers wordt de running economy mogelijk vooral bepaald door hun looptechniek.

Optimale pasfrequentie

In figuur 1 is te zien hoe met behulp van curve fitting per deelnemer en per



Figuur 1. Voorbeeld van zuurstofgebruik bij verschillende pasfrequenties op een constante loopsnelheid (80% anaerobe drempel) voor een onervaren (cirkels) en een ervaren (vierkanten) loper. Door middel van curve fitting (2de orde polynoom) is de theoretisch optimale pasfrequentie bepaald (90 passen/min voor beide lopers). De zelfgekozen voorkeurspasfrequentie (open symbolen) voor de onervaren deelnemer lag met 78 passen/min ruim onder het optimum van 90 passen/min (waarbij zijn zuurstofgebruik minimaal was).



Figuur 2. Procentuele afwijking ([(voorkeurspasfrequentie – optimale pasfrequentie) / optimale pasfrequentie] * 100%) voor de onervaren (links) en ervaren (rechts) lopers. Ieder balkje is de gemiddelde waarde van de twee metingen die bij iedere deelnemer zijn uitgevoerd.

meting de pasfrequentie werd bepaald waarbij het zuurstofgebruik theoretisch het laagst zou zijn.

De gemiddelde (\pm SD) voorkeurspasfrequentie van de groep onervaren lopers was met 77.8 ± 2.8 passen/min significant lager dan die van de ervaren lopers (84.4 ± 5.3). Deze getallen lagen voor beide groepen significant ($p < 0.05$) onder de respectievelijke optimale frequenties van 84.9 ± 5.0 voor onervaren lopers en 87.1 ± 4.8 voor de ervaren lopers. Bij de onervaren lopers was het verschil tussen voorkeurs- en optimumfrequentie groter. In figuur 2 staan de individuele verschillen (gemiddelden van twee metingen) en daaruit blijkt, dat vooral de onervaren lopers met een voorkeurspasfrequentie liepen die lager was dan hun meest economische (optimale) pasfrequentie. Bij drie onervaren lopers was dit verschil zelfs meer dan 10%, maar ook enkele van de ervaren lopers zouden profijt kunnen hebben van een kleine

verhoging van hun pasfrequentie.

De variatie in voorkeurspasfrequentie tussen de twee metingen binnen elke deelnemer was gering: de variatiecoëfficiënten (individueel gemiddelde/sd) waren 1.0 ± 0.6 (onervaren lopers) en 0.7 ± 0.5 (ervaren lopers). Voor de optimale pasfrequentie waren de getallen voor onervaren en ervaren lopers respectievelijk: 2.5 ± 2.2 % en 1.4 ± 1.3 %. Dit betekent dus dat de metingen (heel) betrouwbaar zijn.

Conclusies

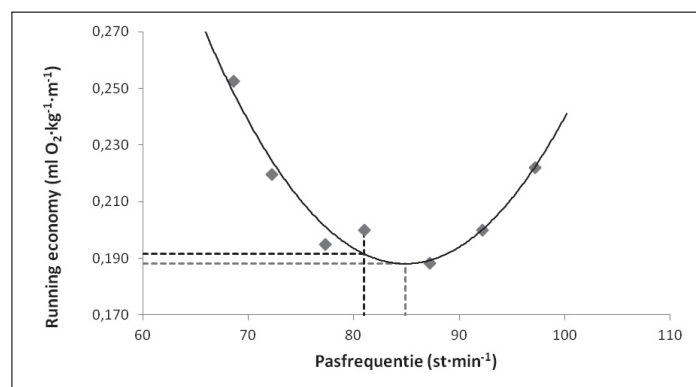
Zowel de voorkeurs- als de optimale pasfrequentie kunnen betrouwbaar worden vastgesteld.

Bijna alle lopers lopen met een iets (2 tot 17%) te lage pasfrequentie.

Running economy en pasfrequentie

Een belangrijke vraag is natuurlijk hoeveel energie er bespaard zou kunnen worden indien men zou lopen met de optimale pasfrequentie. Voor veel lopers bleek de kromming van de relatie tussen pasfrequentie en running economy gering te zijn. Dit betekent dat kleine verschillen tussen de voorkeurspasfrequentie en de volgens de curve optimale pasfrequentie slechts een (zeer) geringe toename van het energiegebruik teweeg brengen (zie figuur 3). De theoretische verbetering in running economy door de pasfrequentie te optimaliseren was dan ook voor beide groepen gering en niet significant verschillend tussen de groepen. De running economy (verkregen uit gefitte waarden van individuele curven) zou voor de onervaren lopers gemiddeld met 1.4 % verbeteren

Figuur 3. Een kleine verschuiving in pasfrequentie (x-as) van voorkeur (81 pas/min) naar optimum (85 pas/min), leidde bij de meeste deelnemers slechts tot een geringe (in dit voorbeeld van net boven naar net onder $0.19 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) verbetering in running economy (y-as). Er werd hierbij van de gefitte curve uitgegaan en niet van de gemeten data punten (waar meer toevalsvariatie in zit).

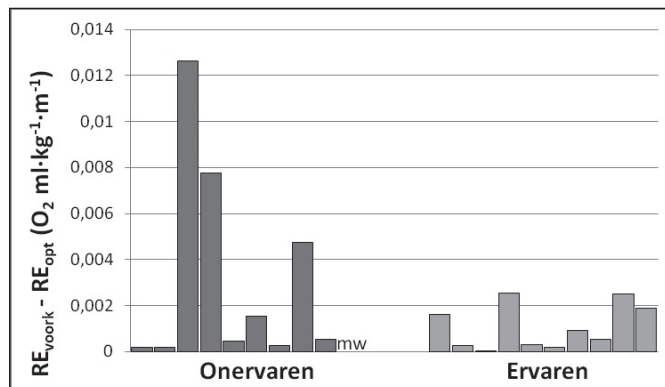


($p = 0.06$), namelijk van $0.239 \pm 0.031 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ naar $0.236 \pm 0.031 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, indien zij hun pasfrequentie zouden verhogen naar hun optimale pasfrequentie. Voor de ervaren lopers zou de te behalen verbetering in termen van zuurstofgebruik – van $0.190 \pm 0.013 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ naar $0.189 \pm 0.013 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ – gemiddeld zeer gering zijn (0.6%) en ook niet significant ($p=0.24$). Echter: in individuele gevallen lijken enkele ervaren lopers toch energie te kunnen besparen indien zij hun pasfrequentie iets (5-8%, zie figuur 4) zouden verhogen. Voor de praktijk zijn vooral de individueel mogelijke verbeteringen interessant.

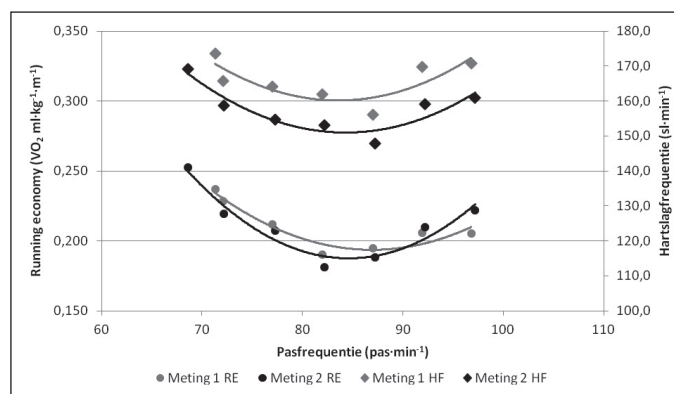
In figuur 4 staat voor alle deelnemers het berekende energieverlies dat zij hadden tijdens het lopen met hun voorkeurspasfrequentie ten opzichte van de theoretisch optimale (meest zuinige) pasfrequentie. Uit de figuur blijkt duidelijk dat met name enkele onervaren lopers (O3, O4, O8) er baat bij zouden hebben hun pasfrequentie te verhogen. De winst in termen van energiegebruik zou voor deze deelnemers in de buurt van de 3-5% liggen. Ook enkele ervaren lopers (E4, E9, E10) zouden door het verhogen van hun pasfrequentie hun running economy met ongeveer 1% kunnen verbeteren.

Conclusie

Met name (maar niet uitsluitend) beginnende lopers kunnen energie besparen (1-5%) door hun pasfrequentie te optimaliseren (meestal betekent dit: verhogen).



Figuur 4. Individueel berekend verschil in energiegebruik (running economy) tussen het lopen op de voorkeurspasfrequentie en de optimale pasfrequentie ('mw' is missende waarde voor deelnemer O10).



Figuur 5. Running economy (onderste twee curven en linker y-as) en hartslagfrequentie (bovenste twee curven en rechter y-as) als functie van de pasfrequentie op twee verschillende meetdagen bij een redelijk ervaren loper (E10). Zowel voor de relaties van zuurstofopname als voor de hartslagfrequenties blijkt het minimum (optimum) rond de 85 stappen/min te liggen.

Zelf je optimale pasfrequentie bepalen met hartslag

Niet iedere loper heeft de beschikking over ademgasanalyse apparatuur om zijn of haar optimale pasfrequentie te bepalen. Het goede nieuws is echter, dat het huidige onderzoek laat zien dat de optimale pasfrequenties zoals bepaald met behulp van de hartslagfrequentie niet verschillend waren ($p > 0.31$) van die welke waren bepaald met de zuurstofopname. Net als de relatie tussen pasfrequentie en zuurstofopname (figuren 1 en 3) verliep de relatie tussen pasfrequentie en hartslagfrequentie ook volgens een dalparabool

(zie figuur 5). Voor de onervaren lopers waren de optimale pasfrequenties (pas/min) bepaald met zuurstofgebruik en hartslagfrequentie respectievelijk 83.0 ± 7.3 en 84.9 ± 5.0 , voor de ervaren lopers was dit 85.4 ± 3.5 en 86.1 ± 3.2 . Bovendien waren er significant positieve relaties tussen beide methodes van optimum bepaling, zowel in de onervaren ($r = 0.70$) als in de ervaren groep ($r = 0.76$) lopers. Dus individuele sporters zouden bij een constante duurloopsnelheid (bij voorkeur op een lopende band) met behulp van een metronoom zelf kunnen experimenteren met het lopen op verschillende pasfrequenties. De pasfrequentie waarbij de hartslagfrequentie dan minimaal is, is dan de meest economische pasfrequentie. Het voordeel van deze manier van werken zou kunnen zijn dat een meting op basis van de hartslagfrequentie probleemloos op een aantal verschillende dagen herhaald kan worden en dat er zodoende een heel betrouwbaar beeld te krijgen is van de optimale, meest economische individuele pasfrequentie.

Conclusie

Ook zonder ademgasanalyse kan de optimale pasfrequentie worden bepaald, namelijk met een hartslagmeter en een metronoom.

Aanvullende opmerkingen

De huidige metingen vonden plaats op een lopende band, wat gestandaardiseerd meten mogelijk maakt. Lopen op een band is echter anders dan 'vrij' lopen op de weg of de atletiekbaan. Bij 'vrij' lopen zijn niet alleen de omstandigheden (temperatuur, wind etc.)

moeilijker te standaardiseren, maar zouden de deelnemers ook een mobiel apparaat met zich mee moeten dragen om de zuurstofopname te meten. Dit zou



de running economy en looptechniek zeker beïnvloed hebben. Bovendien concluderen Saunders et al.⁵ in hun review dat running economy op een band gemeten erg goed correleert met die tijdens vrij lopen.

De pasfrequentie is slechts één van de vele factoren die de running economy bepalen. Het huidige onderzoek laat wel zien dat de pasfrequentie een factor is die waarschijnlijk heel makkelijk te verbeteren is, omdat de meeste lopers heel goed in staat bleken hun pasfrequentie op geleide van een metronoom aan te passen. Bovendien is elke procent verbetering in running economy waarschijnlijk te vertalen in een vergelijkbare verbetering van de wedstrijdprestatie (eindtijd).²

Ons advies zou zijn om, indien lopers niet met de optimale pasfrequentie blijken te lopen, hen eerst te leren om die frequentie te verbeteren (waarschijnlijk te verhogen) en vervolgens eventueel aan andere technische aspecten te gaan werken. Het is zeker denkbaar dat het verbeteren van de running economy voor een groot deel plaatsvindt buiten onze directe invloed om, bijvoorbeeld door geleidelijke aanpassingen van het bindweefsel gedurende vele jaren van trainen. Bovendien moeten we niet vergeten dat het aanpassen van de techniek waarschijnlijk tot andere belastingen van spieren, pezen en gewrichten zal leiden en het is niet uit te sluiten dat dit, zeker wanneer dit overhaast plaatsvindt, zelfs tot blessures leidt.

Conclusies

Ervaren lopers hebben hun pasfrequentie 'automatisch' geoptimaliseerd naar het energiegebruik, al zouden enkele lopers er waarschijnlijk baat bij hebben hun pasfrequentie nog iets te verhogen.

De zelfgekozen pasfrequentie was gemiddeld genomen minder optimaal bij de onervaren lopers. Ongeveer de helft van deze lopers zou hun running economy op korte termijn betekenisvol kunnen verbeteren door de pasfrequentie te verhogen.

Verschillen in de zelfgekozen en optimale pasfrequentie tussen ervaren en onervaren lopers konden het verschil in running economy tussen de groepen niet verklaren. Andere (niet gemeten) parameters, zoals mogelijk een te verticaal gerichte afzet, zijn waarschijnlijk verantwoordelijk voor de slechtere running economy in onervaren ten opzichte van ervaren lopers.

Voor het bepalen van de individueel optimale pasfrequentie volstaan een loopband, een metronoom en een hartslagmeter.

Dit artikel in *Sportgericht* is een beknopte versie van het onderzoeksverslag. Een uitgebreidere versie van dit artikel is te vinden op: <http://www.move.vu.nl/wp-content/uploads/2008/02/Ruiter-J.-de-loopeconomie-en-stapfrequentie1.pdf>

Referenties

1. De Ruiter J (2010). Het gebruik van versnel-

lingmeters tijdens sprongtesten. *Sportgericht*, 64 (4), 22-27.

2. Di Prampero PE, Capelli C, Pagliaro P, Antonutto G, Girardis M, Zamparo P & Soule RG (1993). Energetics of best performances in middle-distance running. *Journal of Applied Physiology*, 74 (5), 2318-2324.

3. Helgerud J, Storen O & Hoff J (2010). Are there differences in running economy at different velocities for well-trained distance runners? *European Journal of Applied Physiology*, 108 (6), 1099-1105.

4. Larsen HB (2003). Kenyan dominance in distance running. *Comparative Biochemistry and Physiology. Part A, Molecular and Integrative Physiology*, 136 (1), 161-170.

5. Saunders PU, Pyne DB, Telford RD & Hawley JA (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Medicine*, 34 (7), 465-485.

Over de auteurs

Dr. Jo de Ruiter heeft lichamelijke opvoeding (HALO) en bewegingswetenschappen gestudeerd. Sinds zijn promotie op het gebied van de spierfysiologie werkt hij als docent/onderzoeker aan de Faculteit Bewegingswetenschappen van de VU in Amsterdam. Hij is voormalig tienkamper en heeft jarenlang atleten van nationaal niveau gecoacht, onder andere als bondstrainer speerwerpen.

Wout Werker (MSc.) is in 2011 met dit onderzoek afgestudeerd aan de Faculteit Bewegingswetenschappen van de VU in Amsterdam. Hij heeft in 2005 de opleiding Bewegingstechnologie aan de Haagse Hogeschool (HHS) afgerond. Wout is op dit moment actief op zoek naar een baan.

Menno Zuidema (MSc.) heeft na het afronden van de opleiding Bewegingstechnologie (HHS) aan de VU de master Bewegingswetenschappen gevolgd. Dit stuk behoorde tot zijn afstudeerwerk. Menno is werkzaam bij McRoberts in Den Haag, waar hij applicaties voor versnellingsensoren ontwikkelt. Daarnaast probeert hij de Nederlandse top te bereiken op de middenlange (hardloop)afstanden in de atletiek.