

VU Research Portal

Running Deciphered

van Oeveren, B.T.

2021

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

van Oeveren, B. T. (2021). *Running Deciphered: The interpretation of running technique from wearable data.* [, Vrije Universiteit Amsterdam].

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

Nederlandse samenvatting

In Europa doet ongeveer 13% van de bevolking regelmatig aan hardlopen. Hardlopen is daarmee één van de meest populaire sportieve activiteiten in Europa en tevens in Nederland. De populariteit van hardlopen kan verklaard worden door de positieve effecten van hardlopen op de gezondheid en het gemak waarmee de sport beoefend kan worden. Paradoxaal genoeg behoort hardlopen ook tot de top meest blessuregevoelige sporten. Het gebruik van wearable technologie, zoals sporthorloges, smartphones, activity trackers en andere sensoren, is anno 2020, moeilijk weg te denken uit het hardlopen. Met ingebouwde GPS, accelerometers en hartslagmeters verzamelen hardlopers elke training waardevolle gegevens over trainingsomvang, intensiteit en looptechniek. Dankzij de feedback uit wearable technologie kan het trainingsgedrag en de looptechniek worden bijgestuurd. De wearable technologie heeft daarmee de potentie om individuele prestaties te bevorderen en blessurerisico's te verlagen.

Om uiteindelijk prestaties te bevorderen en blessures te verminderen is het essentieel dat de trainingsgegevens uit wearables correct worden geïnterpreteerd. Een verkeerd advies zou een negatief effect op de prestatie kunnen hebben en zelfs blessures in de hand werken. Door de repeterende beweging die kenmerkend is voor cyclische sporten zoals hardlopen, kan een klein verschil in de belasting per stap theoretisch van grote invloed zijn op de efficiëntie (energieverbruik per afgelegde afstand), de prestatie en het blessurerisico. Daarom zijn juist taakgerichte instructies nodig, bijvoorbeeld over de looptechniek, om bijvoorbeeld de belasting tijdig bij te sturen en daarmee de kans op een blessure te reduceren. De feedback uit de huidige technologie is echter sterk gericht op het behalen van lange termijn doelen ten aanzien van afstand en snelheid. Daarbij verhinderen meetfouten en het ontbreken van contextuele informatie een correcte, eenduidige interpretatie.

De looptechniek is afhankelijk van de interactie tussen de biomechanische factoren, individuele kenmerken en de omstandigheden waaronder gelopen wordt. Deze contextuele factoren maken het uiterst complex om accurate feedback en instructies te geven aan een loper over de optimale looptechniek in een specifieke situatie. Zelfs in een experimentele setting vormen contextuele factoren en meetfouten een uitdaging in het geven van accurate feedback. De natuurlijke dynamische context waarin wearables trainingsgegevens

vastleggen bevorderen de ecologische validiteit. Echter, de diverse context vormt een uitdaging voor de interpretatie van wearable data. Dit proefschrift richt zich op het verbeteren van de nauwkeurigheid, contextuele factoren en de interpretatie van wearable data bij het hardlopen. Binnen het dataverwerkingsproces, van het meten tot de interpretatie, onderzoeken we de mogelijkheden om de nauwkeurigheid en interpretatie te verbeteren. Het ultieme doel van deze reeks aan onderzoeken is om de effectiviteit van feedback in de toekomst te verbeteren zodat de technologie kan worden ingezet om blessures te verminderen en persoonlijke prestaties te verbeteren.

Schrede-detectie uit acceleratie

Voor het detecteren van beweging wordt meestal gebruik gemaakt van accelerometers die in de wearable zijn ingebouwd. Voor veel cyclische duursporten, zoals wandelen, hardlopen, fietsen, schaatsen, langlaufen, roeien, verschaft het detecteren van de bewegingsfrequentie een belangrijk fundament in de feedback. Zo wordt bij het wandelen met ‘activity trackers’ het aantal stappen bijgehouden en bij het hardlopen de stapfrequentie. Daarnaast vormt de detectie van elke cyclus een basis voor het detecteren van andere parameters. Zo wordt in het hardlopen de verticale verplaatsing per stap berekend en vormt de start van elke stap het begin (of eind) van de grondcontacttijd. Een sensor die perfect in het midden op de borst is geplaatst, is geschikt voor het meten van stappen. Als alternatief, is een sensor die op de voet is geplaatst geschikt om schreden (twee stappen) te meten. Op veel plekken op het lichaam kan de stapdetectie inconsequent zijn en stappen of schreden detecteren. Ook bewegingsartefacten, asymmetrie en onregelmatigheden in het geregistreerde signaal zorgen voor onnauwkeurigheden in de stapdetectie. Minder nauwkeurige detectie kan je bijvoorbeeld verwachten van een smartphone in de broekzak, of een activity tracker rond de pols. De nauwkeurigheid van detectie hangt af van de positie, oriëntatie, fixatie, het gewicht en de afmetingen van de sensor. De nauwkeurigheid en veelzijdigheid van het algoritme waarmee de beweefrequentie wordt bepaald kan worden verbeterd door telkens een complete cyclus te meten. In het lopen bestaat een complete cyclus uit een linker en een rechter stap, die samen een schrede vormen. In Hoofdstuk 2 beschrijven we een nieuw algoritme voor schrededetectie dat valideert of opeenvolgende cycli overeenkomen. Dit algoritme levert

uitstekende resultaten onder uiteenlopende uitdagende condities en is nauwelijks gevoelig voor de positie en oriëntatie van de sensor op het lichaam. Het algoritme is ontworpen voor real-time verwerking en geschikt voor smartphones. In potentie kan het algoritme ook worden gebruikt voor de bepaling van de bewegingsfrequentie bij andere cyclische activiteiten.

Snelheid uit contacttijd en GPS

Door informatie uit verschillende sensoren te combineren, ook wel 'sensor fusion' genoemd kan zelfs na het parametriseren de nauwkeurigheid van feedback verder verbeteren. Bij sensor fusion worden de limitaties van de ene sensor gecorrigeerd door de andere sensor. Voor de hardloper is snelheid erg belangrijk om trainingsintensiteit en de looptechniek te kunnen interpreteren. Snelheid wordt bepaald aan de hand van GPS. Met behulp van GPS kan de positie van de hardloper met een fout van ongeveer 5 tot 15m worden bepaald. De fouten in de positiebepaling werken door op de snelheid die van positie wordt afgeleid. In situaties met een slechte satellietontvangst, kan de GPS-snelheid (zeer) onnauwkeurig zijn, met name tijdens het lopen van bochten en tijdens versnellingen kan afstand en de GPS-snelheid erg afwijken van de werkelijke afstand en snelheid. Van grondcontacttijd en stapfrequentie is bekend dat ze relateren aan loopsnelheid. Verschillende wearables meten grondcontacttijd en stapfrequentie met sensoren die op de voeten of op de borst gedragen worden. In tegenstelling tot GPS, zijn de nauwkeurigheid van de bepaling van de grondcontacttijd en stapfrequentie niet onderhevig aan problemen in de signaaloverdracht. In Hoofdstuk 3 onderzoeken we of grondcontacttijd of stapfrequentie kan worden gebruikt voor het schatten en valideren van snelheid. De conclusie van dit hoofdstuk luidt dat met name grondcontacttijd een zinvolle verbetering kan geven van de nauwkeurigheid van schattingen van de snelheid, met name in die situaties waarin GPS minder nauwkeurige resultaten oplevert.

Een energetisch optimum op basis van hartslag

Het is over het algemeen wenselijk om te lopen met een techniek die weinig energie kost. Uit eerder onderzoek is gebleken dat een energetisch 'optimale' stapfrequentie bepaald kan worden op basis van zuurstofopname of hartslagwaardes. De meeste ervaren lopers hebben

een stapfrequentie die dicht bij hun energetische optimum ligt, terwijl beginnende lopers vaker zouden profiteren van aanpassingen van hun stapfrequentie. De optimale stapfrequentie is naar verwachting afhankelijk van de loopsnelheid. In Hoofdstuk 4 onderzoeken we of het energetisch optimum bepaald kan worden bij verschillende loopsnelheden. Net als in voorgaande studies was het opvallend dat de onervaren deelnemers in staat waren hun hartslag te verlagen door hun stapfrequentie te verhogen zonder specifieke oefening vooraf. Anders dan verwacht, bleken de optimale stapfrequentie en de voorkeursstapfrequentie niet significant afhankelijk te zijn van de loopsnelheid. Dit kan worden verklaard door de beperkte snelheidsrange bij beginnende lopers en het lage aantal observaties in de studie. Niettemin suggereren de resultaten dat het bij beginnende lopers minder noodzakelijk is om rekening te houden met het relatief geringe effect van loopsnelheid op de optimale stapfrequentie.

Individuele verschillen in stapfrequentie

Stapfrequentie is één van de meest voorkomende parameters die wordt gemeten voor het bepalen van hardlooptechniek. Vaak wordt door coaches en lopers aangenomen dat de stapfrequentie 180 stappen per minuut zou moeten zijn. Dit veronderstelt dat de optimale stapfrequentie onafhankelijk is van de loopsnelheid, van de situatie waarin gelopen wordt, en dat zelfs het optimum voor iedereen gelijk zou zijn. In **Hoofdstuk 5** maakten we gebruik van jaren aan trainingsdata (16.128 uur) die door 256 gebruikers van sporthorloges werden verzameld. We onderzochten welke factoren van invloed zijn op individuele verschillen op de stapfrequentie–snelheid relatie. Beenlengte, leeftijd, Body Mass Index en de wekelijkse trainingsomvang bleken de stapfrequentie–snelheid relatie significant te beïnvloeden. In tegenstelling tot wat doorgaans verondersteld wordt, vertoonden de maten voor blessure–prevalentie, loopervaring en loopprestatie geen relatie met de geregistreerde stapfrequenties. Op basis van deze studie kan worden geconcludeerd dat snelheid, en beenlengte belangrijke factoren zijn voor de interpretatie van stapfrequentie. In mindere mate, kunnen daarbij leeftijd, Body Mass Index en de wekelijkse trainingsomvang in acht worden genomen.

Loopstijlen uit wearable data

De huidige feedback over de looptechniek beperkt zich doorgaans tot geïsoleerde biomechanische parameters, waarbij de interpretatie wordt overgelaten aan de loper. Elke parameter beschrijft slechts één kenmerk van een complex looppatroon. Voor een correcte interpretatie moet rekening worden gehouden met het feit dat veel parameters onderling samenhangen, hetgeen niet vanzelfsprekend gedaan wordt. Ook in de nodige wetenschappelijke studies wordt de samenhang tussen verschillende parameters niet altijd goed in beschouwing genomen. Verschillende onderzoekers hebben er al eerder op gewezen dat er meerdere parameters nodig zijn om een loopstijl te karakteriseren. In een beschrijvende review in **Hoofdstuk 6** zoeken we uit met welke set van parameters de fundamentele verschillen tussen loopstijlen beschreven kunnen worden. Het doel van de loper is om zich te verplaatsen. Hierbij maakt het lichaamszwaartepunt een golvende beweging. We redeneerden dat de parameters die nodig zijn om de asymmetrie van deze golvende beweging de fundamentele kenmerken van loopstijlen zou onthullen. We kwamen tot de conclusie dat bij een gegeven snelheid, de stapfrequentie en de 'duty factor' volstaan om de loopstijl te karakteriseren. De 'duty factor' kan berekend worden op basis van de grondcontacttijd en de stapfrequentie en representeert de verhouding tussen de grondcontacttijd en de zweeftijd. Voor het vergelijken van loopstijlen kan stapfrequentie waarschijnlijk het best worden gecorrigeerd aan de hand van de beenlengte. De stapfrequentie en duty factor combineren we in een zogenoemd 'Dual-axis model' waarmee we de kenmerken van de vijf meest uiteenlopende loopstijlen verklaren. Dit Dual-axis model is bedoeld om als een praktische handleiding te dienen bij het meten en interpreteren van de hardlooptechniek.

Profielen van hardlopers

Om misverstanden te voorkomen in het vergelijken van hardlopers is het zaak om een adequate referentiepopulatie te hanteren. In **Hoofdstuk 7** onderzoeken we hoe 1802 hardlopers van verschillend prestatieniveau van elkaar verschillen in termen van trainingsgedrag, blessures en motivatie. Hierbij is het belangrijk te benadrukken dat in de literatuur deze lopers in de regel allemaal als 'recreatief' gelabeld zouden worden. In onze analyse werden de lopers echter in drie groepen onderverdeeld op basis van een zelf

opgegeven 10km-tijd gecorrigeerd voor leeftijd en geslacht. We vonden substantiële verschillen tussen de drie prestatiegroepen in trainingsgedrag, blessures en motivatie. Voor de minder snelle lopers bleek gewichtsverlies een relatief belangrijke reden om regelmatig hard te lopen. Voor de snellere lopers lag de motivatie meer in het verbeteren van het uithoudingsvermogen en het deelnemen aan loopevenementen. Zoals verwacht traiden de snellere lopers vaker en legden ze daarbij grotere afstanden af. Daarnaast deden snellere lopers ook vaker aan intervaltrainingen.

Conclusies met betrekking tot blessure-prevalentie waren sterk afhankelijk van de wijze waarop de blessure-prevalentie werd uitgedrukt. Zo bleken de snellere lopers in totaal meer blessures te krijgen. Echter, er waren tussen de groepen geen verschillen in de blessure prevalentie per tijdeenheid (aantal blessures per 1000 uur) en zelfs minder blessures bij de snellere lopers wanneer de prevalentie werd uitgedrukt in de gelopen afstand (aantal blessures per 1000 km). Snellere lopers hadden relatief meer blessures rond de achillespees. Het lagere aantal blessures per gelopen afstand ondanks het grotere trainingsvolume en de hogere trainingssnelheden, tezamen met de verschillen in blessurelocatie, kan mogelijk verklaard worden door verschillen in looptechniek tussen de prestatiegroepen.

Er blijken in de huidige analyse dus prestatieafhankelijke verschillen te bestaan binnen de grote groep hardlopers in deze studie die in het leeuwendeel van de literatuur als ‘recreatief’ gecategoriseerd zouden worden. De resultaten laten zien dat de veelgebruikte aanduiding ‘recreatief’ onvoldoende specifiek is en dat vergelijkingen tussen lopers niet op basis van deze aanduiding moeten worden gedaan. Daarnaast kan het benchmarken van feedback op basis van het prestatieniveau van een loper een eenvoudige oplossing zijn om hardlopers te voorzien van persoonlijk relevante begeleiding en instructies.

Conclusies en praktische aanbevelingen

Uit de studies in dit proefschrift vloeien verschillende praktische oplossingen voort om de nauwkeurigheid en de interpretatie van wearable data over looptechniek te verbeteren. De volgende punten vatten de praktische aanbevelingen samen:

- Uit de verschillende studies in dit proefschrift is gebleken dat snelheid niet buiten beschouwing gelaten kan worden voor de interpretatie van looptechniek en dat een geïsoleerde biomechanische parameter onvoldoende is om de loopstijl te karakteriseren. Gebaseerd op het Dual-axis model uit **Hoofdstuk 6** verwachten we dat fundamentele verschillen tussen loopstijlen gekarakteriseerd kunnen worden door (slechts) snelheid, stapfrequentie en contacttijd te meten. We verwachten dat het Dual-axis model belangrijke implicaties heeft voor vervolgonderzoek en de vormgeving van feedback.
- De nauwkeurigheid waarmee stappen gedetecteerd worden, kan worden verbeterd door gebruik te maken van het algoritme uit **Hoofdstuk 2**. Echter, voor de meeste situaties in het hardlopen kan een hoge nauwkeurigheid van stapfrequentie en contacttijd verwacht worden wanneer sensors gunstig zijn geïmponeerd.
- Met name verbeteringen in het schatten van de snelheid op basis van GPS zijn gewenst. Dit kan door data te fuseren, zoals in **Hoofdstuk 3** wordt geopperd, of door gebruik te maken van geaggregeerde datasets, zoals in **Hoofdstuk 5**. In **Hoofdstuk 6** redeneren dat stapfrequentie en duty factor (op basis van de grondcontacttijd) kunnen worden gebruikt om de verplaatsing van het lichaamszwaartepunt te voorspellen. Op basis daarvan zou de validatie van GPS-gebaseerde snelheid in principe het meest nauwkeurig kunnen door gebruik te maken van stapfrequentie en de grondcontacttijd.
- Het bepalen van een energetisch optimum met behulp van aanpassingen in de stapfrequentie lijkt een veel belovende manier om richting en vorm te geven aan de feedback (**Hoofdstuk 4**). Hiervoor is het noodzakelijk dat de loper voldoende varieert in stapfrequentie bij een gegeven snelheid en context. Omdat een dergelijke optimale stapfrequentie context gebonden is (denk onder andere aan weersomstandigheden, terrein, fysieke staat) zal de verkregen optimale stapfrequentie niet zondermeer gegeneraliseerd kunnen worden en dient er rekening gehouden te worden met een te verwachten foutmarge.
- Referentiewaarden kunnen worden bepaald uit populatiedatasets, individuele data of op basis van een energetisch optimum. Elke van deze methoden heeft zijn voor en nadelen (**Hoofdstuk 8**). Op basis van **Hoofdstuk 7** kunnen we stellen dat voor een vergelijking op basis van populatiedata het van belang is dat de referentiepopulatie voldoende overeenkomt met de loper in kwestie.