

Sportfysiotherapeuten, inspanningsfysiologen en coaches zoeken continu naar de optimale balans tussen belasting en belastbaarheid om een sporter of patiënt zo optimaal mogelijk te laten presteren. Dit artikel beschrijft hoe belasting, herstel, vermoeidheid en prestatievermogen op basis van de hartslagfrequentie optimaal gecontroleerd kunnen worden. In deel 2 zullen aanvullende testen worden besproken.

Praktische monitoring van belasting, herstel en fitheid Deel I: Indicatoren gebaseerd op de hartslag

**Renée de Vries
& Jeroen Rietvelt**

Dé manier om als sporter je prestaties te verbeteren is trainen. Ook sporters met blessures zullen moeten trainen of oefenen om weer naar hun oude prestatieniveau terug te keren. De trainingsresponsen bij sporters en patiënten zijn over het algemeen gerelateerd aan de trainingsprikkels tijdens de verschillende trainings- en behandel-fases.¹ Een passende, op het individu afgestemde trainingsdosis kan leiden tot optimale vooruitgang van fitheid en performance.²⁻⁵ Daarentegen kunnen zowel te veel belasting (*overload*, leidend tot een opeenstapeling van vermoeidheid) als te weinig belasting (*underload*, leidend tot ontraining) leiden tot achteruitgang ervan. Ont-training wordt gedefinieerd als een volledige of gedeeltelijke afname van trainingsaanpassingen als gevolg van onvoldoende trainingsprikkels en wordt gekenmerkt door veranderingen in het cardiovasculaire, neuromusculaire en/of metabole systeem.⁶

Overreaching

Gedurende een zware trainingsperiode bouwen sporters vaak een extreme

vermoeidheid op. Dit proces wordt 'overreaching' genoemd. Het is de bedoeling dat deze vermoeidheid gedurende de aansluitende herstelperiode verdwijnt en dat het herstel zelfs een beetje 'doorschiet' ('supercompensatie'), zodat het prestatievermogen na de totale cyclus van belasting en herstel is toegenomen. Als dat lukt spreken we van 'functional overreaching'.⁷ Als de trainingsprikkel echter te ver wordt doorgevoerd, kan dit leiden tot 'non functional overreaching'. Er is dan geen goede balans meer tussen training en herstel.⁷ De sporter raakt wel extreem vermoeid, maar er volgt daarna geen toename van zijn prestatievermogen. Wanneer de prestaties gedurende langere tijd onder het normale niveau blijven spreekt men van het overtrainingssyndroom (OTS). De symptomen die passen bij OTS zijn verminderde prestaties, verhoogde rusthartslagfrequentie, verminderde eetlust, verstoord slaapritme, depressieve gevoelens, concentratieverlies, veranderingen in hormoonspiegels en een verlies aan motivatie.⁸ De patiënt/sporter zal in dit geval enkele weken,



‘Een inspanning kan mijn lijf niet aan. Mijn lichaam herstelt zich niet. Overtraining noemen ze dat.’ Voor Vos komt het niet als een grote verrassing. ‘Dit zat eraan te komen, nu is het definitief. De laatste test heeft aangetoond dat ik niet fit ben. Wanneer mijn eerstvolgende wedstrijd kan zijn? In 2016. Maar mijn eerste prioriteit is herstellen.’

(Bron: NOS 21-7-2015)

maanden of soms zelfs jaren nodig hebben om te herstellen.⁹ Het OTS kan voor een sporter dus einde seizoen of zelfs einde carrière betekenen.

Adaptatie

Een optimaal trainingsprogramma voorkomt non functional overreaching, OTS en blessures, maar ook ont-training. Het moet eenvoudig gezegd niet te zwaar, maar ook niet te licht zijn en moet gunstige fysiologische aanpassingen (‘adaptatie’) in de richting van de gewenste prestaties opleveren.¹¹ Hiertoe moeten inhoud, omvang, intensiteit en tijdstip van de opeenvolgende (progressieve) belastingen strategisch worden gekozen.¹² Het inbouwen van herstelperiodes zorgt voor adaptatie aan de training.¹² Afhankelijke van het type trainingsprikkel, van het individu en van andere factoren kan het herstel

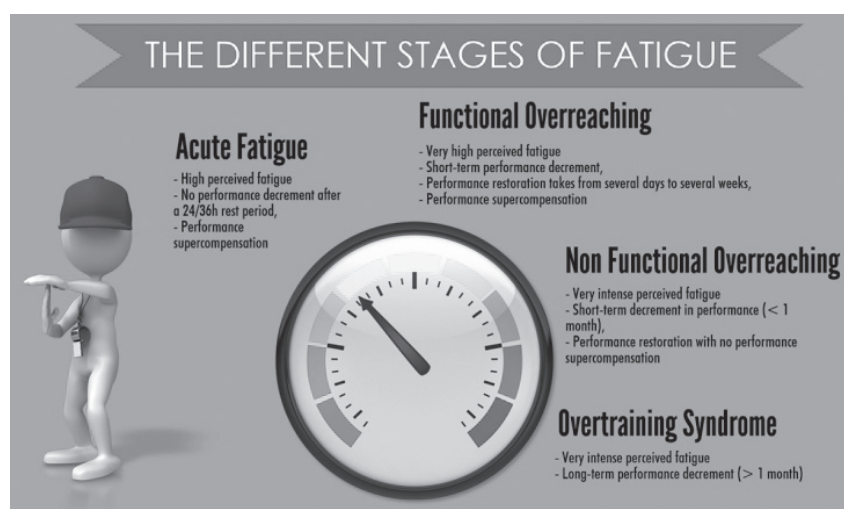
zowel ‘actief’ als ‘passief’ zijn.⁸ Een juiste balans tussen trainingsbelasting en herstel zal als gezegd leiden tot supercompensatie. Het lichaam zal zich steeds opnieuw aanpassen aan de trainingsprikkel die worden gegeven en zo zullen de prestaties stap voor stap verbeteren.

Op basis van het bovenstaande is het van groot belang om zowel patiënten als sporters in de verschillende fases van letselherstel en training te (blijven) monitoren op het vlak van trainingsbelasting, vermoeidheid en fysieke fitheid en/of performance. De trainingsinhoud en -belasting moeten immers voortdurend worden aangepast aan de veranderende status van het individu. Later in dit artikel zal dieper worden ingegaan op de verschillende hartfrequentie indicatoren die hierbij kunnen worden gebruikt. Maar eerst bespreken we wat er in de literatuur bekend

is over verschillende indicatoren voor vermoeidheid.

Centrale en perifere vermoeidheid

Tijdens een zware belasting zal – afhankelijk van de trainingsintensiteit en het trainingsvolume – de relatie tussen perifere spiervermoeidheid en centrale vermoeidheid beïnvloed worden. Dit kan leiden tot een afname van de spiercapaciteit, als ook het geleverde vermogen en/of de aansturing van de spier.¹³ Vermoeidheid wordt vaak toegeschreven aan het optreden van een ‘metabool eindpunt’, waarbij de glucoseconcentratie in het bloedplasma en de glycogeenvoorraden in de spieren en de lever verlaagd zijn en de concentratie vrije vetzuren in het bloedplasma verhoogd¹⁴, met daarbij een afname in prestatie en functie.¹⁵ Denk hierbij bijvoorbeeld aan een schaatser

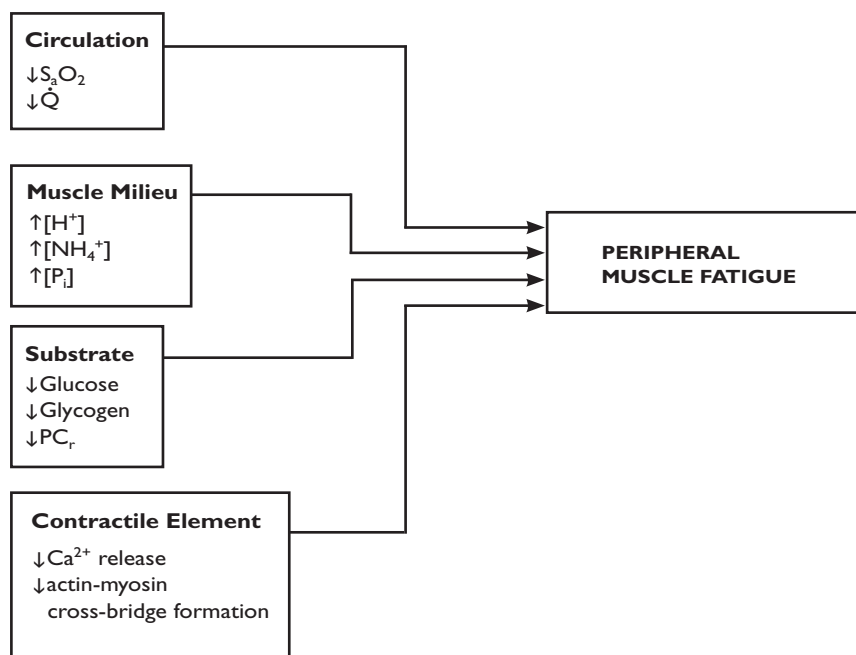


Figuur 1. De verschillende gradaties van vermoeidheid die door de trainingsbelasting kunnen optreden. (overgenomen van @YLMSSport-Science¹⁰)

in de laatste ronde van de 1500 meter. Er is een afname van slagfrequentie, vermogen, gewrichtshoeken en coördinatie zichtbaar. Zowel centrale als perifere factoren dragen bij aan deze vermoeidheid.

Centrale vermoeidheid

De term centrale vermoeidheid is tweeledig te interpreteren, namelijk 1) metabool, dus samenhangend met de beperkingen van het cardiorespiratoire systeem en 2) neuraal, dus afkomstig uit het centrale zenuwstelsel. Voorheen stond de eerste interpretatie meer op de voorgrond en werden de oorzaken van vermoeidheid dus vooral in de tekortschietende aanvoer van zuurstof en energie naar de spieren gezocht. De huidige literatuur laat echter steeds vaker zien dat centrale vermoeidheid vooral het resultaat is van begrenzendende mechanismen in het centrale zenuwstelsel. In het artikel van Van Hooren en Bosch¹⁶ is hier aandacht aan besteed en is dit uitgelegd aan de hand van pre-motor reactietijd. Er is een verminderde centrale motor output van het zenuwstelsel richting de spieren.¹³ Wanneer de hersenen en het ruggenmerg er niet in slagen de prikelfrequentie op peil te houden spreekt men van centrale neurale vermoeidheid. Dit kan ook gezien worden als een verlaagde centrale sensitivatie waarbij de respons van het centraal zenuwstelsel op zintuiglijke informatie is afgenomen.¹⁷ Te denken valt aan een afname van sensorische corticale input en motorische output.¹³ Het niet kunnen volhouden van spiercontracties wordt o.a. toegeschreven aan centrale factoren als de metabole beïnvloeding van centrale monoaminen als serotonine, dopamine, noradrenaline en verlaagde plasmaglucose concentraties.¹⁴ De ventilatoire respons kan onvoldoende zijn door optredende respiratoire spiervermoeidheid. Dit kan leiden tot afname van bloedtoevoer, verminderde spier-



Figuur 2. Samenvatting van factoren die (kunnen) bijdragen aan de ontwikkeling van perifere spiervermoeidheid. (overgenomen uit: Shei & Mickleborough¹⁹)

contractie-efficiëntie en verminderde zuurstoftoevoer.^{13,18}

Perifere vermoeidheid

Het zogeheten perifere model¹³ zoekt verklaringen voor vermoeidheid in en rondom de spier. De naam van het model is ietwat misleidend, want uitgangspunt is dat zowel centrale als perifere factoren kunnen leiden tot veranderingen in het contractiele mechanisme van de spier, waardoor spiercontracties niet meer kunnen worden volgehouden, zoals

- glycogeendepletie;
- verminderde neuromusculaire transmissie;
- verminderde recruterende van motorische eenheden;
- verandering in activiteit van neuronen.¹⁴

Figuur 2 geeft een overzicht van de verschillende factoren die (kunnen) leiden tot perifere spiervermoeidheid. Door dit alles kunnen zowel het maximale vermogen (= krachtleverantie x contractiesnelheid) van de spieren als het vermogen dat bij langdurig herhaalde contracties geleverd kan worden, afnemen. Een belangrijke

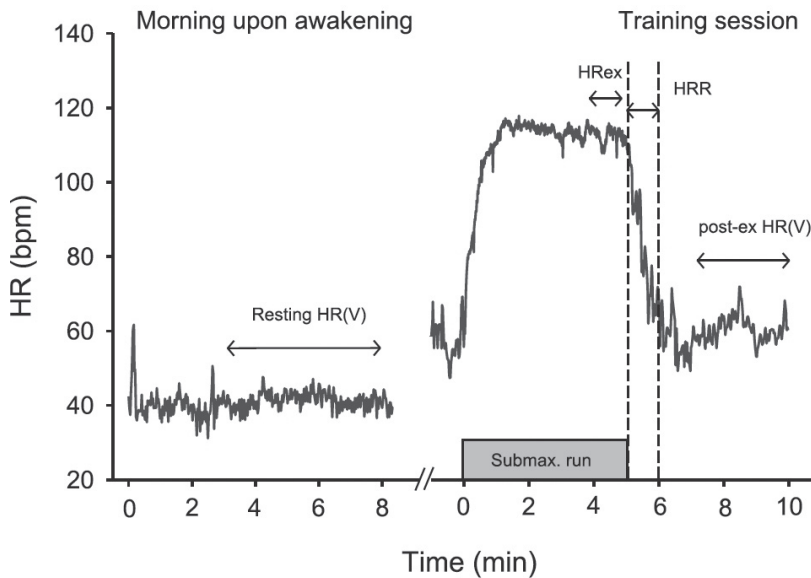
toevoeging hierbij is dat de vermoeidheid reversibel is door het nemen van rust.¹⁹

Indicatoren trainingsbelasting

Het kwantificeren van de trainingsbelasting wordt over het algemeen gedaan op basis van externe indicatoren, onder andere:

- afgelegde afstand;
 - aantal herhalingen;
 - power output;
- en interne indicatoren, zoals:
- zuurstofopname;
 - hartslagfrequentie (HR);
 - lactaatspiegel;
 - ervaren mate van inspanning (EMI/RPE).

Indicatoren voor de intensiteit van de inspanning, zoals hartslagfrequentie, power output en EMI/RPE kunnen worden gecombineerd met de tijdsduur van de belasting om daaruit een zogeheten 'trainingsimpuls' te bepalen. In het eerder in *Sportgericht* verschenen artikel van Van Hooren²⁰ is uitgebreid stilgestaan bij het onderwerp session Rating of Perceived Exertion (sRPE). In het artikel dat nu voor u ligt, staat de interne indicator hart-



Figuur 3. Voorbeeld van de registratie van diverse op de hartslagfrequentie gebaseerde indicatoren gedurende een dag. (overgenomen uit: Buchheit²)

slagfrequentie centraal (zie figuur 3). Buchheit² stelt dat de trainingsstatus van sporters grotendeels gemonitord kan worden aan de hand van een aantal hartslagparameters die worden ontleend aan (vrijwel dagelijkse) metingen in rust en tijdens submaximale belasting. We zullen deze parameters achtereenvolgens bespreken.

Resting Heart Rate (HR_{REST})

De rusthartslagfrequentie wordt gedefinieerd als het aantal hartslagen per minuut in rust en kan in theorie het beste 's nachts gemeten worden. Dan is het signaal het meest stabiel, is de omgeving in hoge mate gestandaardiseerd en is het (verstoring) effect van de ademhaling het geringst. In de praktijk zijn nachtelijke metingen echter vaak minder goed haalbaar.²¹ Het meest praktisch is het doen van korte metingen (5-10 minuten) direct na het ontwaken uit de nachtrust.^{4,21} De literatuur geeft aan dat dit zowel in ruglig als staand kan gebeuren.²² De liggende meting is comfortabeler, maar heeft wel het risico van opnieuw in slaap vallen. Om dit te voorkomen is een zittende meting een goed alternatief. In onderzoek bij sporters is er een verband gelegd tussen een daling

van de rusthartslag en een toename van het uithoudingsvermogen. Er was een grote variatie in absolute HR_{REST} waarden, waardoor er geen verband was tussen de absolute HR_{REST} en de fitheid. Er was echter wel een duidelijk relatief verband: als het weekgemiddelde van de HR_{REST} daalde, waren er hogere scores op de fitheidstesten.⁴

Resting Heart Rate Variability (HRV_{REST})

Coaches gebruiken vaak de HR_{REST} als indicator, maar binnen de sportwetenschap wordt (ook) de Heart Rate Variability (HRV_{REST}) gebruikt.² HRV is de variatie in de tijdsintervallen tussen de hartslagen en geeft een indruk van het reguleringsvermogen.²³ Zie het eerdere *Sportgericht* artikel van Ganzevles²⁴ voor meer informatie over de praktische toepassing van deze indicator.

Exercise Heart Rate (HR_{EX})

De hartslagfrequentie tijdens inspanning is een gemakkelijk meetbare indicator. Er is geen geavanceerde apparatuur voor nodig om deze meting uit te voeren. De hartslagmeter is voor (vrijwel) iedere sporter bereikbaar. De HR_{EX} kan zowel absoluut als relatief

uitgedrukt worden. Absoluut in slagen per minuut en relatief als percentage van de maximale hartslag ($\%HR_{MAX}$) of als percentage van de hartslagreserve ($\%HR_{RES}$). Omdat de hartslagfrequentie tijdens submaximale inspanning nauw samenhangt met de zuurstofopname, geeft de HR_{EX} een goede indruk van de trainingsintensiteit. Voor een sporter is de HR_{EX} een goede marker voor zijn eigen trainingsintensiteit en fitheid. Hoe lager zijn hartslagfrequentie is bij een identieke uitwendige belasting (weerstand, vermogen, snelheid), des te fitter hij is. Dit geldt echter alleen ten opzichte van zijn zichzelf; ten opzichte van andere sporters is hier geen eenduidige uitspraak over te doen.² Met andere woorden: als twee sporters samen lopen of fietsen in hetzelfde tempo, dan is degene met de laagste hartslag niet per definitie de fitste van de twee.

Heart Rate Recovery (HRR)

De HRR wordt gedefinieerd als de snelheid waarmee de hartslagfrequentie daalt binnen een bepaald tijdsinterval na een inspanning.³ Dit herstel weerspiegelt algemene hemodynamische aanpassingen in het lichaam. Over het algemeen wordt een sneller herstel van de hartslagfrequentie geassocieerd met een beter aerob uithoudingsvermogen⁹ en een betere trainingsstatus.³ Er zijn verschillende methodes om het hartslagfrequentieherstel te monitoren. Het meten van het aantal hartslagen in een bepaalde tijd is hiervan een voorbeeld. Er werd een correlatie gevonden tussen veranderingen in het hartslagfrequentieherstel over 60 seconden (HRR_{60}) enerzijds en uithoudingsvermogen en vermoeidheid anderzijds. In het artikel van Aubrey et al.⁹ worden twee trainingsgroepen met elkaar vergeleken. Bij de overload trainingsgroep werd een grote toename gezien in de HRR, in de controlegroep was dit verschil niet waarneembaar. Deze

bevindingen tonen aan dat een snellere HRR kan worden geassocieerd met een verbeterde inspanningscapaciteit.^{2,9} Voorzichtigheid is echter geboden. In teamsporten correleert de verandering van HRR bijvoorbeeld niet altijd met de veranderingen in prestaties.^{25,26} In de literatuur wordt een herstel van de hartslagfrequentie naar 65% van de HF_{MAX} beschouwd als een adequate waarde om weer aan inspanning te beginnen binnen hoog intensieve intervaltraining.²⁷

Exercise Heart Rate Variability (HRV_{EX})

Er zijn nog verscheidene beperkingen bij het gebruik van de variabiliteit in hartslagfrequentie als indicator tijdens inspanning. Hierdoor wordt deze parameter voornamelijk gezien als een wetenschappelijk speeltje en minder als een praktisch bruikbare indicator.²

Post Exercise Heart Rate Variability

De variabiliteit van de hartslagfrequentie na inspanning staat onder invloed van meerdere factoren, zoals regulering van de bloeddruk, baroreflexactiviteit en vooral de metabole stimulatie. Dit maakt het een minder betrouwbare meting.² Hoe groter de intensiteit van de inspanning, hoe lager de post exercise HRV. Op het moment dat de intensiteit te hoog is, zal de hartslagfrequentievariabiliteit (HRV) nauw verbonden zijn met de HR_{EX} en is de meting overbodig. Voor teamsporten is het moeilijk deze variabele te gebruiken om de fitheid te monitoren, omdat het lastig is om spelers met dezelfde intensiteit te laten sporten.

Aandachtspunten

Bij het monitoren van sporters op basis van de zojuist besproken hartslagparameters is er nog een aantal zaken waar we rekening mee moeten houden. Deze zullen we hieronder bespreken.

Borstband

Het trainen op basis van hartslagparameters wint nog steeds aan populariteit. Ook binnen de recreatiesport wordt steeds vaker gebruik gemaakt van een hartslagfrequentiemeter om de trainingsbelasting en fitheid te monitoren. De aanschaf van zo'n meter is, afhankelijk van je eisen, relatief goedkoop. Het dragen van een meetband rondom de borst wordt soms als ongemakkelijk ervaren, maar de meting zal gezien de technologische ontwikkelingen in de toekomst wellicht op andere wijze via andere sensoren kunnen plaatsvinden. In een eerder artikel in *Sportgericht* over optische polshartslagmeters is hier ook al op ingegaan.²⁸

Inspanningstest

Een onder supervisie uitgevoerde sportspecifieke (sub)maximale inspanningstest kan een sporter of patiënt op een betrouwbare manier inzicht geven in zijn capaciteiten. Op basis van de testresultaten kan de inspanningsfysioloog of sportfysiotherapeut een individueel advies geven over trainingszones, dat gebruikt kan worden binnen een trainingsprogramma. Bij topsporters is de apparatuur en de begeleiding voor het uitvoeren van zo'n test vaak aanwezig. Voor sporters die hier niet de beschikking over hebben komen er steeds meer mogelijkheden, zoals een sportmedische keuring. De kosten van zo'n keuring worden steeds vaker vergoed door de zorgverzekering.

Leeftijd en geslacht

Bij het meten van de HR zal rekening moeten worden gehouden met de invloed van leeftijd en geslacht.

Leeftijd

De cardiovasculaire functie neemt af naarmate we ouder worden. Met de afname van de cardiorespiratoire functies zal ook de VO_2max afnemen, met ongeveer 10% per decennium.²⁹ Er

vindt ook vermindering plaats van de maximale hartslagfrequentie. Hoewel er formules bestaan om de maximale hartslagfrequentie op basis van de leeftijd te berekenen, blijft dit altijd een schatting en blijft er een grote inter-individuele variatie over. Een over- of onderschatting van de maximale hartslagfrequentie kan een groot verschil maken bij het opstellen van trainingsrichtlijnen. Het is dus van groot belang dat metingen adequaat en nauwkeurig worden uitgevoerd. Alleen dan kan er op basis van de juiste gegevens worden getraind en kunnen over- en ontraining voorkomen worden.

Geslacht

Ook met het geslacht dient rekening gehouden te worden. Er zit een verschil in hartslagfrequentie tussen mannen en vrouwen. De maximale hartslagfrequentie is normaliter hetzelfde voor mannen en vrouwen. Vrouwen hebben echter een hogere hartslagfrequentie op elk niveau van (sub)maximale inspanning door een lager slagvolume bij hetzelfde hartminuutvolume. Het lagere slagvolume van vrouwen is het gevolg van een kleiner linker ventrikel en een lager bloedvolume, beide het gevolg van de geringere lichaamsgrootte van vrouwen.³⁰

HRV gebaseerde trainingsaanpak

Stanley et al.²¹ beschrijven, dat een op HRV gebaseerde trainingsaanpak leidt tot grote verbeteringen in het uithoudingsvermogen. Er kan op een hoge intensiteit getraind worden zodra de HRV zijn normaalwaarde heeft bereikt. Wanneer er een lichte training wordt gegeven is dit herstel na 24 uur zichtbaar. Een training rond de drempelwaarde van een sporter heeft 24-48 uur nodig voor herstel. Bij een zware training duurt het langer dan 48 uur voordat de HRV zijn normaalwaarde heeft bereikt en er weer een trainingsprikkel kan worden toegediend. Het herstel

van HRV treed sneller op bij personen met een betere aerobe conditie. Er zijn omstandigheden waarin de betrouwbaarheid van de HRV-metingen afneemt. Bij trainingen onder (extrem) warme omstandigheden komt de cardiale activiteit bijvoorbeeld niet overeen met de gerapporteerde vermoeidheid en de verminderde prestaties.²⁴ Ook andere factoren die het herstel kunnen beïnvloeden, zoals de hoeveelheid slaap, zouden meegenomen kunnen worden bij het interpreteren van dagelijkse veranderingen in HRV.

Verschillen tussen sporten

Wanneer er gezocht wordt naar de meest geschikte variabele om de trainingsbelasting bij een sporter of patiënt te monitoren, moet er een afweging gemaakt worden tussen de sensitiviteit (gevoeligheid) en de praktische waarde (relevantie) van een meting. Maar ook de praktische bruikbaarheid (bijvoorbeeld dagelijks of wekelijks meten) is belangrijk. Op basis van het type sport kan een keus worden gemaakt. Duursporters lopen een groter risico op overtraining dan andere sporters. Voor hen is een wat uitgebreider assessment aan te raden, namelijk 3-4 keer per week na het ontwaken de HR_{REST} meten en dit eenmaal per week aanvullen met HR_{EX} (en HRR). Wanneer de metingen correct worden geïnterpreteerd is de HR_{REST} een veelbelovende variabele om algehele vermoeidheid, lichamelijke conditie en prestatievermogen over korte en lange termijn te monitoren.^{2,4,21}

Voor teamsporters is het vaker dan eenmaal per week uitvoeren van HR-metingen meestal niet realistisch en minder functioneel. Idealiter zou elke week op een gestandaardiseerde dag de HR_{EX} (of eventueel HRR) gemeten

moeten worden. Dit zou bijvoorbeeld kunnen worden geïntegreerd in de team warming-up.

Voor sporten waarbij de neuromusculaire en cognitieve functies als belangrijkste determinanten gezien worden, zoals gewichtheffen en krachttraining, is het gebruik van hartslagfrequentie-monitoring minder functioneel.



Beperkingen

Vanwege de neurale aspecten is het niet toereikend om vermoeidheid op te vatten als iets dat pas optreedt op het moment dat een taak of activiteit niet meer kan worden uitgevoerd. Veranderingen in afferente spierfeedback, motor-corticale output en de perceptie van vermoeidheid treden al op ver voor het moment dat de vermoeidheid op perifeer niveau ook daadwerkelijk wordt waargenomen.³¹ Verschillende verklaringsmechanismen hiervoor worden in de literatuur beschreven, waaronder het catastrofe model en het 'central governor' model.^{15,32} We lijken vermoeidheid te moeten begrijpen als een complex van neuromusculaire aanpassingen, waaronder de afname

van motor unit recruterings, in reactie op bepaalde sensorische input. Dit leidt uiteindelijk tot een afname van de power output. Cardiaal parasympatisch herstel loopt parallel met herstel van het spiervermogen.³³ Er is echter geen verband tussen HR-herstel en het herstel van creatinekinase in het bloed en ervaren spierpijn.³⁴ Verder is het de vraag in hoeverre metabool herstel (zoals de resynthese van glycogeen) parallel verloopt met het herstel van de verschillende op de hartslag gebaseerde indicatoren zoals beschreven in dit artikel.^{21,25} HR metingen alleen lijken niet voldoende om alle aspecten van vermoeidheid en welbevinden te monitoren.

Conclusie

Het monitoren van de trainingsbelasting van sporters en patiënten is belangrijk om optimale prestaties te kunnen bereiken. De rusthartslagfrequentie, het hartslagfrequentieherstel en de hartslagfrequentie tijdens inspanning lijken bruikbare indicatoren. De huidige technologische ontwikkelingen zullen het in de toekomst makkelijker maken om HR-metingen uit te voeren. De ontwikkeling op het gebied van smart watches is hier een voorbeeld van. HR-metingen hebben echter een beperkte sensitiviteit voor een aantal relevante neuromusculaire, metabole en psychometrische verstoringen. HR-metingen kunnen de inspanningsfysioloog of sportfysiotherapeut dus niet informeren over *alle* aspecten van welzijn, vermoeidheid en prestaties van de sporter of patiënt. Bovendien is het toepassen van hartslagfrequentieparameters niet voor alle sporten functioneel.

Vervolg

Het gebruik van hartslagindicatoren in combinatie met andere psychome-

trische- en prestatie markers biedt een completer beeld van de reactie van een sporter of patiënt op de trainingsbelasting. In deel 2 van dit artikel zullen aanvullende testen om vermoeidheid te meten in kaart worden gebracht.

Referenties

1. Borresen J & Lambert MI (2009). The quantification of training load, the training response and effect on performance. *Sports Medicine*, 39 (9), 779-795.
2. Buchheit M (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5 (73), 1-19.
3. Daanen HA et al (2012). A systematic review on heart rate recovery to monitor changes in training status in athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7 (3), 251-260.
4. Plews DJ et al (2013). Evaluating training adaptation with heart rate measures: A methodological comparison. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8 (6), 688-691.
5. Bouchard C, Shephard RJ & Stephens TE (1995). Physical activity fitness, and health: Second international consensus symposium. *American Academy of Kinesiology and Physical Education*, 47, 288-303.
6. Mujika I & Padilla S (2001). Cardiorespiratory and metabolic characteristics of detraining in humans. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33 (3), 413-421.
7. Meeusen R et al (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45 (1), 186-205.
8. Kellman M (2010). Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20 (2), 95-102.
9. Aubrey A et al (2015). The development of functional overreaching is associated with a faster heart rate recovery in endurance athletes. *PLoS ONE*, 10 (10), e0139754.
10. Meur, Y le (2014). <https://ylmsportscience.files.wordpress.com/2014/09/d140a-overreaching.png>
11. Borresen J & Lambert MI (2007). Changes in heart rate recovery in response to acute changes in training load. *European Journal of Applied Physiology*, 101 (4), 503-511.
12. Hulzebos E & Takken T (2014). Trainingsleer voor de fysiotherapeut. *Physios*, 3, 16-23.
13. Marshall PWM, Harrison TF & Siegler JC (2015). The magnitude of peripheral muscle fatigue induced by high and low intensity single-joint exercise does not lead to central motor output reductions in resistance trained men. *PLoS ONE*, 10 (10), e0140108.
14. Meeusen R et al (2006). Central fatigue: the serotonin hypothesis and beyond. *Sports Medicine*, 36 (10), 881-909.
15. Abbiss CR & Laursen PB (2005). Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. *Sports Medicine*, 35 (10), 865-898.
16. Hooren B Van & Bosch F (2015). Trainen en meten van explosieve prestaties Deel I: de invloed van stijgtijd. *Sportgericht*, 69 (3), 20-27.
17. Meyer RA, Campbell JN & Raja SN (1995). Peripheral neural mechanisms of nociception. In: Wall PD & Melzack R (eds), *Textbook of pain*, pp. 13-44. Edinburgh: Churchill Livingstone.
18. Dempsey JA et al (2008). Respiratory system determinants of peripheral fatigue and endurance performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40 (3), 457-461.
19. Shei RJ & Mickleborough TM (2016). Relative contributions of central and peripheral factors in human muscle fatigue during exercise: a brief review. *Journal of Exercise Physiology online*, 16 (6), 1-17.
20. Hooren B Van (2016). Praktisch kwantificeren van de trainingsbelasting. Mogelijkheden en beperkingen van de sRPE-methode. *Sportgericht*, 69 (5), 23-31.
21. Stanley J, Paeke JM & Buchheit M (2013). Cardiac parasympathetic reactivation following exercise: implications for training prescriptions. *Sports Medicine*, 43 (12), 1259-1277.
22. Schmitt L et al (2013). Fatigue shift and scatters heart rate variability in elite endurance athletes. *PLoS ONE*, 8 (8), e71588.
23. Börmert K & Michael I (2008). De hartslagvariabiliteit als graadmeter voor de gezondheid. *Raum & Zeit*, 2-7.
24. Ganzevles S (2014). Longitudinale monitoring van HRV en HRR. Volgen van herstel en belastbaarheid bij topzwemmers. *Sportgericht*, 68 (1), 2-8.
25. Buchheit M et al (2012). Monitoring fitness, fatigue and running performance during pre-season training camp in elite football players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16 (6), 550-555.
26. Buchheit M et al (2012). Monitoring changes in physical performance with heart rate measurements in young soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, 112 (2), 711-723.
27. Schoenmakers P & Hettinga F (2013). Wat is de optimale arbeidsrust verhouding (ARV) binnen aerobe hoogintensieve intervaltraining (HIIT)? *Sportgericht*, 67 (1), 12-16.
28. Buchheit M et al (2011). Physiological and performance adaptations to an in-season soccer camp in the heat: associations with heart rate and heart rate variability. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21 (6), 477-485.
29. Wilmore JH, Costill DL & Kenney WL (2009). *Inspannings- en sportfysiologie (2e herziene druk)*. Maarssen: Elsevier Gezondheidszorg.
30. Proctor DN et al (1998). Influence of age and gender on cardiac output-VO₂ relationships during submaximal ergometry. *Journal of Applied Physiology*, 84 (2), 599-605.
31. Gandevia SC (2002). Neural control in human muscle fatigue: changes in muscle afferents, motoneurons and motor cortical drive. *Acta Physiologica Scandinavica*, 162 (3), 275-283.
32. Noakes TD, St Clair Gibson A & Lambert EV (2003). From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans: summary and conclusions. *British Journal of Sports Medicine*, 39 (2), 511-514.
33. Chen JL et al (2011). Parasympathetic nervous activity mirrors recovery status in weightlifting performance after training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25 (6), 1546-1552.
34. Hooren B Van (2016). Optische hartslagmeters. Hoe werken ze en zijn ze valide tijdens lichamelijke inspanning? *Sportgericht*, 70 (2), 10-15.

Over de auteurs

Renée de Vries is master sportfysiotherapeut en werkt bij M-Visio te Wageningen.
Jeroen Rietvelt werkt als strength & conditioning coach voor NOC*NSF, als docent binnen de masteropleiding Sportfysiotherapie van de Hogeschool Utrecht en als inspanningsfysioloog bij de Japanse nationale schaatsploeg (all-round & sprint).