

HARTRITMEVARIATIE

HOE REAGEERT HARTRITMEVARIATIE OP FYSIEKE TRAININGSBELASTING?

CRP TERSTEEG¹, CG OTTERSPEER¹, HJ ZWOLLE²

¹ *Bewegingstechnologie, Technology, Innovation & Society, Haagse Hogeschool, Den Haag*

² *Eigenaar HJZ-Sport en MyPerfectCoach, Amsterdam*

SAMENVATTING

Inleiding: Het doel van dit praktijkgerichte retrospectieve onderzoek is om na te gaan wat de invloed is van fysieke trainingsbelasting op hartritmevariatie (HRV). Hierbij werd verwacht dat een toegenomen fysieke trainingsbelasting resulteerde in een afgenomen HRV. **Methode:** De data moesten voldoen aan minimaal tien achtereenvolgende weken met daarbij minimaal drie HRV metingen per week. Totaal zijn 26 atleten geschikt bevonden welke minimaal 300 minuten per week trinden met een gemiddelde leeftijd van 25 ± 9 jaar. In de data zijn de HRV waarden gekoppeld aan de trainingsgegevens van de dag ervoor. Binnen de atleten zijn drie regressie analyses uitgevoerd met een lineaire en kwadratische fit; (EMI_{dag}) ervaren mate van inspanning, HRV per dag ($trainingsbelasting_{dag}$) berekende trainingsbelasting, HRV per dag ($fysieke\ belasting_{week}$) berekende fysieke belasting, gemiddelde HRV per week. Binnen de analyses is gekeken naar de significant bevonden verklaarde variantie en de regressiecoëfficiënten. **Resultaten:** (EMI_{dag}) Het percentage verklaarde variantie is zowel lineair ($R^2_{gem}=0.045$, $n=3/22$) als kwadratisch ($R^2_{gem}=0.061$, $n=4/22$) zwak bevonden. ($trainingsbelasting_{dag}$) Het percentage verklaarde variantie is zowel lineair ($R^2_{gem}=0.044$, $n=5/22$) als kwadratisch ($R^2_{gem}=0.047$, $n=4$) zwak bevonden. ($fysieke\ belasting_{week}$) Het percentage verklaarde variantie is lineair ($R^2_{gem}=0.323$, $n=3/21$) matig bevonden en kwadratisch ($R^2_{gem}=0.515$, $n=4/21$) sterk bevonden. Bij de regressiecoëfficiënten zijn zowel positief als negatief correlerende waarden gevonden. **Conclusie:** In dit onderzoek is geen aantoonbaar verband gevonden tussen de fysieke trainingsbelasting en HRV. Om het gemiddelde percentage verklaarde variantie bij fysieke belasting_{week} nader te verklaren wordt vervolgonderzoek aanbevolen waarbij de fysieke gesteldheid van atleten duidelijk in kaart moet worden gebracht.

INLEIDING

Het trainingsprogramma van een atleet bestaat uit een periode van zware trainingsprikkels en een daarop volgende rustperiode (Fischerstrand & Seiler, 2004; Laursen, 2010; Seiler, 2010). Weten wanneer je moet herstellen en voor hoelang je moet herstellen is echter lastig te bepalen en per individu verschillend (Meeusen, et al., 2004). Indien er een opeenstapeling van fysieke- of mentale belasting is, waardoor de prestatie op korte termijn afneemt, is er sprake van overreaching (Meeusen, et al., 2006; Bosquet, et al., 2008). Wanneer de atleet van de overreaching herstelt en er hierdoor een verbetering in de prestatie optreedt, spreekt men ook wel van functionele overreaching (FOR). Indien de atleet

niet lang genoeg of te laat rust neemt en hierdoor de prestatiecapaciteit stagneert of zelfs afneemt, is er sprake van niet functionele overreaching (NFOR). Als bij NFOR zich de volgende symptomen voordoen; hormonale veranderingen, toegenomen vermoeidheid, prestatie afname en een verstoord slaap- waakritme, wordt gesproken van een overtrainingssyndroom (OTS). Het tijdig herkennen van deze symptomen en het stellen van een diagnose is echter niet eenvoudig en de diagnose wordt vaak te laat gesteld (Lemmink, et al., 2009). Bij OTS kan het herstel van de prestatiecapaciteit maanden duren (Uusitalo, et al., 2004; Meeusen, et al., 2006). Dit benadrukt het belang van preventie van NFOR en OTS (Mourot, et al., 2004; Lemmink, et al., 2009).

Doordat NFOR en OTS wordt veroorzaakt door een disbalans tussen belasting en herstel, is het van belang dat inzicht verkregen wordt in de individuele belastbaarheid van een atleet (Ganzevles, 2014). Door middel van het monitoren van verschillende parameters kan iets gezegd worden over de mate van herstel, fysieke en mentale belasting (Lemmink, et al., 2009). Één van de parameters hiervoor is hartritmevariatie (HRV), waarvan in toenemende mate gebruik wordt gemaakt (Plews, et al., 2013; Ganzevles, 2014).

HRV drukt de totale variatie van de R-R intervallen uit (figuur 1). Dat wil zeggen; de afstand tussen de R-toppen van de gemeten hartslag (Aubert, et al., 2003; Szjatzel, 2004; Acharya, et al., 2006). De hartfrequentie wordt geregeld door het autonome zenuwstelsel (AZS). Het effect van het AZS op de R-R intervallen is complex. Dit komt doordat het AZS geïnnerveerd wordt door zowel de parasymphathicus als door de sympathicus (Makivic, et al., 2013). De parasymphathicus en de sympathicus oefenen gelijktijdig invloed uit op de regulatie van het hartritme, waarbij een evenwicht bestaat tussen beide systemen. Wanneer er meer parasymphathische activiteit is, zal de hartfrequentie lager zijn en HRV hoger. Wanneer de sympathische activiteit de overhand heeft zal de hartfrequentie hoger zijn en de HRV lager (Burgerhout, et al., 2006; Ganzevles, 2014).



Figuur 1 Weergave van een elektrocardiogram (ECG) welke de variaties tussen R-toppen ofwel HRV weergeeft in milliseconden (figuur overgenomen uit Makivic, et al., 2013).

Binnen het bestaande evenwicht in het AZS is er bij NFOR en OTS, naast de eerder beschreven symptomen, sprake van een onbalans en disfunctie (Lemmink, et al., 2009; Makivic, et al., 2013). Bij NFOR uit de onbalans van het AZS zich in een toegenomen sympathische activiteit (Plews, et al., 2012; Tian, et al., 2012). Wanneer doorgetraind wordt met een NFOR zal deze sympathische activiteit langzaam afnemen tot er sprake is van OTS. Bij OTS heeft juist de parasymphathische activiteit de overhand (Lehman, et al., 1998; Hedelin, et al., 2000). HRV lijkt een goede

indicator te kunnen zijn waarmee een NFOR/OTS diagnose gesteld kan worden; alleen wel in combinatie met andere parameters (Leite, et al., 2012).

Daarbij wordt in de literatuur over het algemeen gesteld dat een hoge HRV waarde betekent dat een atleet uitgerust en beter getraind is, dat bij NFOR sprake is van een afgenomen HRV en bij OTS juist sprake is van een hoge HRV (Hedelin, et al., 2000; Vikulov, et al., 2005; Firstbeat, maart 2009). Echter in recent onderzoek is, onder Nederlandse topzwemmers, gevonden dat een lage HRV juist betekent dat de atleet uitgerust is en dat een hoge HRV waarde mogelijk veroorzaakt kan worden door een zware trainingsprikkel. In dit onderzoek wordt als verklaring hiervoor gegeven dat de atleten na een zware trainingsprikkel in de zogenoemde 'herstelmodus' staat waarbij de parasymphathische activiteit de overhand heeft (Ganzevles, 2014). Uit een ander onderzoek is ook gebleken dat de HRV bij FOR atleten een progressieve toename van parasymphathische activiteit laat zien (Le Meur, et al., 2013). Een toegenomen of afgenomen HRV kan dus zowel een positieve of negatieve adaptatie betekenen (Plews, et al., 2013).

Uit voorgaande, uiteenlopende, bevindingen blijkt het belang van nader onderzoek naar de relatie tussen HRV en fysieke belasting. In een onderzoek bij zes jonge gymnasten is gevonden dat de HRV correleert met de ervaren mate van inspanning (EMI) van de trainingsdag ervoor (Sartor, et al., 2012). Echter is in het onderzoek van Sartor (2012), evenals bij de voorgaande onderzoeken, gebruik gemaakt van hoog gestandaardiseerde condities, welke, voor de toepassing in de praktijk, te belastend is voor atleten (Le Meur, et al., 2013; Ganzevles, 2014). Om deze reden is er in dit onderzoek gebruik gemaakt van HRV metingen in de praktijk.

De uiteindelijke doelstelling is om te kijken of door middel van HRV metingen meer inzicht verkregen kan worden in de fysieke belasting van een atleet zodat een coach hier tijdig op in kan spelen, bijvoorbeeld door het aanpassen van het trainingsschema (Nederhof, et al., 2006). Om erachter te komen of dit haalbaar is, zal onderzocht worden hoe HRV reageert op fysieke

trainingsbelasting. Voor een indicatie van de fysieke trainingsbelasting wordt gebruik gemaakt van de gescoorde ervaren mate van inspanning (EMI) per dag, de berekende trainingsbelasting per dag en de berekende fysieke belasting per week. Als hypothese wordt hierbij gesteld dat HRV reageert op fysieke belasting, waarbij een negatief verband tussen deze parameters wordt verwacht (Beaumont, et al., 2012; Sartor, et al., 2012; Ganzevles, 2014). Met andere woorden: een toegenomen fysieke trainingsbelasting zal gepaard gaan met een afgenomen HRV waarde.

METHODE

Voor dit retrospectieve onderzoek, naar de invloed van fysieke belasting op HRV, is gebruik gemaakt van data van MyPerfectCoach (MPC). MPC is een online logboek voor atleten en coaches, welke als doel heeft om atleten effectiever en efficiënter te laten trainen om zo meer resultaat te behalen in een bepaalde trainingsperiode.

De in dit onderzoek aangeleverde data is door atleten (n=103) ingevuld in MPC tussen januari 2012 en maart 2014, waarbij de atleten hun eigen specifieke schema volgden. De gebruikte data moesten voldoen aan minimaal 70 achtereenvolgende dagen met een minimaal gemiddelde trainingsduur van 300 minuten per week en waarbij minimaal drie HRV metingen per week zijn gedaan. Vanuit de literatuur is bekend dat minimaal drie willekeurige HRV metingen nodig zijn voor een goede representatie van de gemiddelde HRV gedurende een week (Plews, et al., 2013).

PROEFPERSONEN

In totaal voldeden de gegevens van 26 atleten aan de bovengenoemde criteria, 12 mannen en 14 vrouwen, met een gemiddelde leeftijd van 25 ± 9 jaar en een gemiddeld gewicht van $70,3 \pm 13,7$ kg. De atleten kwamen uit verschillende sporten, waaronder: roeien (n=10), schaatsen (n=5), atletiek (n=3), basketbal (n=3), judo (n=2), trampolinespringen (n=1), wielrennen (n=1) en kanoën (n=1) en ze trainden gemiddeld 424 ± 106 minuten per week. Het gevolgde trainingsschema en overige activiteiten zijn niet opgelegd. Voor dit onderzoek is de data gecodeerd.

HRV. De HRV is aan het oor gemeten met behulp van de Respilex StressChecker© en automatisch ingelezen in MPC. Om de metingen zo betrouwbaar mogelijk te maken zijn de atleten door MPC geadviseerd om de HRV meting iedere dag op hetzelfde tijdstip uit te voeren, bij voorkeur direct na het ontwaken (Hynynen, et al., 2006). Uit onderzoek blijkt dat HRV direct na ontwaken, zoals in dit onderzoek is aanbevolen, eerder een verschil in trainingsadaptatie laat zien dan HRV metingen tijdens de nachtrust (Hynynen, et al., 2006). Tevens is aangeraden om bij iedere meting dezelfde houding aan te nemen met de ogen dicht, liefst liggend of ontspannen zittend. Voor het starten van de meting is aangeraden eerst vijf minuten te ontspannen, waarna aansluitend in drie minuten HRV gemeten werd.

De HRV waarde zelf is bepaald op basis van de tijdsintervallen tussen de opeenvolgende R-pieken waaruit de RMSSD is berekend (Root Mean Square of the Successive Difference) (Aubert, et al., 2003; Vanderlei, et al., 2009; Ganzevles, 2014). De R-R intervallen kunnen door de meeste hartslag apparatuur goed gemeten worden (Weippert, et al., 2010; Ganzevles, 2014). Bij dagelijkse HRV metingen blijkt de RMSSD de meest betrouwbare en praktische parameter waarmee in een kort tijdsbestek de (para)sympathische activiteit in kaart kan worden gebracht (Hammilton, et al., 2004; Plews, et al., 2013). Bovendien is de RMSSD niet significant beïnvloedbaar bevonden door de ademhalingsfrequentie (Penttila, et al., 2001).

Bij het inlezen in MPC wordt de RMSSD gecorrigeerd aan de hand van de leeftijd; onder de 30 jaar wordt de RMSSD naar 60% gecorrigeerd en boven de 75 jaar naar 15%. Aansluitend wordt de RMSSD vermenigvuldigd met een factor 100. Deze leeftijdscorrectie is niet van invloed op de resultaten omdat de analyses binnen de atleten zijn uitgevoerd.

Fysieke trainingsbelasting. Naast de berekende RMSSD is per week de fysieke belasting berekend door middel van de Foster methode (Foster, et al., 2001; Sartor, et al., 2012). Deze methode lijkt een goede indicator voor het bepalen van de fysieke belasting (Skinner, et al., 1973; Noble, 1982; Foster, et al., 2001; Nederhof, et al., 2006; Lemmink, et al., 2009; Kaikkonen, et al., 2010).

Hiervoor is een half uur na iedere voltooide training subjectief gescoord wat de ervaren mate van inspanning (EMI) is (Borg, 1982). Deze subjectieve parameter zijn gescoord met een VAS-score op een schaal van 0 tot 10 waarbij de schuifbalk tot op een tiende nauwkeurig verschoven kan worden. De schuifbalk voor de EMI score geeft kleuren aan van blauw naar groen, geel, oranje en als hoogste score rood. Naast deze subjectieve score wordt ook genoteerd wat de trainingsduur (TD) in minuten is. Op basis van deze ingevulde gegevens is met behulp van onderstaande formules de totale fysieke belasting per week bepaald. De trainingsbelasting score is in deze formules een maat voor de trainingsarbeid op één dag.

Het structureren van de data is gedaan met behulp van Microsoft Excel. Hierbij is de RMSSD gekoppeld aan de ingevulde trainingsgegevens (EMI, TD) van de dag ervoor (Sartor, et al., 2012). Deze koppeling wordt gemaakt omdat de, na het ontwaken, gemeten HRV geen voorspellende waarde kan zijn voor de fysieke trainingsbelasting die op dezelfde dag wordt uitgevoerd. Daarbij wordt in dit onderzoek verondersteld dat een trainingsprikkel gepaard gaat met een bepaalde mate van vermoeidheid en herstel, ofwel fysieke gesteldheid. Deze fysieke gesteldheid is wellicht terug te zien in het respons van het AZS middels HRV metingen (Perini & Veicsteinas, 2003; Sartor, et al., 2012).

$$\text{Trainingsbelasting}_{\text{dag}} = \text{EMI} \cdot \text{TD}$$

$$\text{Monotomie} = \frac{\text{gem Trainingsbelasting}_{\text{week}}}{\text{SD Trainingsbelasting}_{\text{week}}}$$

$$\text{Fysieke belasting}_{\text{week}} = \sum \text{Trainingsbelasting}_{\text{week}} \cdot \text{Monotomie}$$

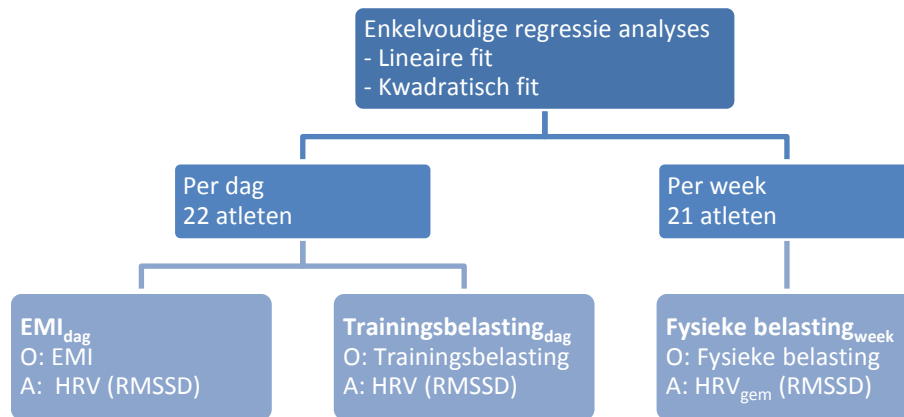
STATISTIEK

Uiteindelijk zijn drie enkelvoudige regressie analyses uitgevoerd (figuur 2) met behulp van SPSS (IBM SPSS Statistics 20 software). Dit is gedaan binnen de proefpersonen omdat deze door sterk uiteenlopende waarden niet onderling vergeleken kunnen worden (Plews, et al., 2013; Ganzevles, 2014).

EMI. Van de regressieanalyses is in de eerste analyse per dag de subjectief gescoorde EMI van een training en de berekende RMSSD meegenomen (Sartor, et al., 2012). In deze analyse zijn alleen de dagen meegenomen waarop de trainingsgegevens ingevuld zijn en de HRV de ochtend erna gemeten is. Door het uitvallen van de dagen waarop niet getraind is of geen trainingsgegevens ingevuld zijn, is er voor gekozen om het minimum aantal datapunten van 70 dagen bij te stellen naar 63 dagen. Hierdoor wordt een zo groot mogelijke groep atleten met voldoende datapunten behouden zonder dat dit ten koste is gegaan van de longitudinale studie. Van de 26 geselecteerde atleten voldeden de gegevens van 22 atleten aan de genoemde criteria binnen de EMI_{dag} analyse.

Trainingsbelasting. In de $\text{trainingsbelasting}_{\text{dag}}$ analyse is de berekende trainingsbelasting per dag, met daaraan gekoppelde RMSSD waarde, meegenomen (Sartor, et al., 2012). Dagen waarop er geen training is uitgevoerd of geen trainingsgegevens bekend zijn en/of de dag erna geen HRV ochtendmeting gedaan is, zijn niet meegenomen in deze analyse. Het minimum aantal datapunten is, net als bij de voorgaande analyse, gesteld op 63 dagen. Bij de $\text{trainingsbelasting}_{\text{dag}}$ analyse voldeden de gegevens van in totaal 22 van de 26 atleten aan de criteria.

Fysieke belasting. Bij de fysieke $\text{belasting}_{\text{week}}$ analyse is de RMSSD gemiddeld over zeven dagen, omdat de waarden sterk kunnen verschillen van dag tot dag (Le Meur, et al., 2013; Plews, et al., 2013). Bij deze analyse is gebruik gemaakt van de langst achtereenvolgende (ononderbroken) dataset in weken waarbij minimaal drie HRV metingen per week zijn uitgevoerd. Het minimum aantal datapunten is hierbij, net als aan het begin van het onderzoek, gesteld op 10 weken. Van de atleten waarbij in de fitheidsscore wel een trainingsbelasting werd ervaren maar waarvan geen daadwerkelijke trainingsgegevens bekend waren op diezelfde dag, zijn niet meegenomen in de fysieke $\text{belasting}_{\text{week}}$ analyse. Op basis van de benoemde criteria zijn in totaal 21 van de 26 atleten meegenomen in deze analyse.



Figuur 2 samenvatting uitgevoerde enkelvoudige regressie analyses. (O) onafhankelijke variabele (A) afhankelijke variabele.

Binnen elke proefpersoon zijn uiteindelijk drie regressie analyses uitgevoerd (EMI_{dag} , $trainingsbelasting_{dag}$ en $fysieke\ belasting_{week}$) met een lineaire en kwadratische fit. Als uitkomst van die regressie analyses is gekeken naar het percentage verklaarde variantie (R^2) met de daarbij horende significantie uit de ANOVA-test. De significant bevonden R^2 worden weergegeven in de resultaten door middel van een gemiddelde, minimale en maximale waarde. Bij een R^2 van $<0,25$ is het verband zwak, bij een R^2 van $0,25$ tot $0,50$ is het verband matig en bij een R^2 van $>0,50$ is het verband sterk bevonden. De R^2 is significant bevonden wanneer deze een waarde heeft van $p < 0,05$.

Per significant bevonden verklaarde variantie binnen de atleten is gekeken naar de overeenkomsten tussen de regressiecoëfficiënten (RC) van de lineaire en kwadratische verbanden. Bij de lineaire verbanden is gekeken of de gevonden richtingscoëfficiënt positief dan wel negatief is. Bij de kwadratische verbanden is gekeken of er sprake is van een dal- of bergparabool. Alleen de significant bevonden regressielijnen ($p < 0,05$) zijn meegenomen in de resultaten.

RESULTATEN

Tabel 1 en tabel 2 geven de significant ($p < 0,05$) bevonden resultaten weer van de uitgevoerde lineaire en kwadratische regressie analyses. In de eerste analyse naar het verband tussen de EMI en de $RMSSD$ per dag is het verband, zowel lineair ($n=3/22$) als kwadratisch ($n=4/22$), zwak bevonden ($R^2 < 0,25$). In de tweede analyse naar het verband tussen de berekende $trainingsbelasting$ en de $RMSSD$ per dag is het verband, zowel lineair ($n=5/22$) als kwadratisch ($n=4/22$), zwak bevonden ($R^2 < 0,25$). Dit zwak bevonden verband geldt voor alle significant ($p < 0,05$) bevonden resultaten in de EMI_{dag} en $trainingsbelasting_{dag}$ analyses.

In de derde analyse, naar het lineaire verband tussen de $fysieke\ belasting$ per week en de gemiddelde $RMSSD$ per week, is het verband bij alle significant ($p < 0,05$) ($n=3/21$) bevonden verklaarde variantie matig bevonden ($R^2 = 0,25 - 0,50$). In de derde analyse, naar het kwadratische verband tussen de $fysieke\ belasting$ per week en de gemiddelde $RMSSD$ per week, is het verband van de significant bevonden resultaten ($n=4/21$) gemiddeld sterk bevonden ($R^2 > 0,50$). Echter: bij drie atleten, van de in totaal vier significant ($p < 0,05$) bevonden resultaten, is een matig verband gevonden ($R^2 = 0,25 - 0,50$).

Tabel 1 en tabel 2 geven de significant ($p < 0,05$) bevonden RC's van de lineaire en kwadratische regressielijnen weer van de atleten waarbij een significante ($p < 0,05$) verklaarde variantie is gevonden. Lineair gezien is bij alle 11 de atleten, waarbij de verklaarde variantie significant ($p < 0,05$) bevonden werd, ook de best fit regressielijnen significant ($p < 0,05$) bevonden. Kwadratisch gezien is er bij 12 atleten de verklaarde variantie significant bevonden. Van deze 12 atleten is bij 10 atleten een significante ($p < 0,05$) RC gevonden.

In de analyses naar RC's van de lijnen zijn uiteenlopende resultaten gevonden, zowel bij de lineaire als de kwadratische significant bevonden resultaten ($p < 0,05$). Zo is bij de lineaire regressielijnen, binnen de drie uitgevoerde regressie analyses, minimaal één maal een positieve RC en minimaal één maal een negatieve RC gevonden. Ditzelfde geldt voor de kwadratische regressielijnen waarbij, binnen de drie uitgevoerde regressie analyses, minimaal één maal een

dalparabool en minimaal één maal een bergparabool werd gevonden. Er is dus geen eenduidig verband gevonden bij de lineaire ($n=11$) en kwadratische ($n=10$) regressiecoëfficiënten.

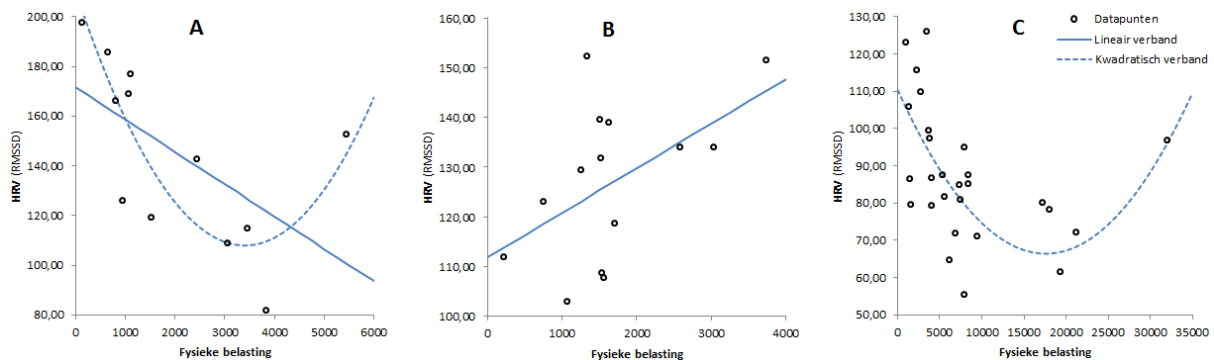
In grafiek 1 zijn van, de lineaire en kwadratische regressielijnen, de atleten weergegeven waarbij het grootste en kleinste percentage verklaarde variantie is gevonden binnen de fysieke belasting_{week} analyse. De groep atleten ($n=3$) waarbij de lineaire analyse significant ($p < 0,05$) bevonden werd bestond uit twee mannen en één vrouw waarvan twee roeiers en één schaatser met een gemiddelde leeftijd van 38 ± 14 jaar en een gemiddeld gewicht van 72 ± 21 kg. De groep atleten ($n=4$) waarbij de kwadratische analyse significant ($p < 0,05$) bevonden werd bestond uit één man en drie vrouwen waarvan twee roeiers, één trampolinespringer en één atleet met een gemiddelde leeftijd van 28 ± 9 jaar en een gemiddeld gewicht van 64 ± 14 kg.

Tabel 1 Significant ($p < 0,05$) bevonden verklaarde variantie van de lineaire regressie analyses met de daarbij horende significant ($p < 0,05$) bevonden regressiecoëfficiënten (1) verband tussen EMI per training en HRV per dag (2) verband tussen trainingsbelasting per dag en HRV per dag (3) verband tussen fysieke belasting per week en de gemiddelde HRV per week

	Lineair (n=65)			Regressiecoëfficiënt			
	Datapunten (n ± SD)	Atleten (n)	R ² gem	min	max	Positief (n)	Negatief (n)
1 EMI _{dag}	197 ± 108	3	,045	,025	,058	1	2
2 Trainingsbelasting _{dag}	170 ± 99	5	,044	,019	,071	3	2
3 Fysieke belasting _{week}	12 ± 1	3	,323	,277	,349	2	1

Tabel 2 Significant ($p < 0,05$) bevonden verklaarde variantie van de lineaire regressie analyses met de daarbij horende significant ($p < 0,05$) bevonden regressiecoëfficiënten (1) verband tussen EMI per training en HRV per dag (2) verband tussen trainingsbelasting per dag en HRV per dag (3) verband tussen fysieke belasting per week en de gemiddelde HRV per week

	Kwadratisch (n=65)			Regressiecoëfficiënt			
	Datapunten (n ± SD)	Atleten (n)	R ² gem	min	max	Dalparabool (n)	Bergparabool (n)
1 EMI _{dag}	188 ± 90	4	,061	,038	,108	2	1
2 Trainingsbelasting _{dag}	209 ± 81	4	,047	,025	,068	2	1
3 Fysieke belasting _{week}	17 ± 7	4	,515	,426	,705	3	1



Grafiek 1 Sterkst en zwakst bevonden lineaire en kwadratische verbanden tussen fysieke belasting en de gemiddelde HRV per week (A) weergave sterkst bevonden lineair ($R^2=0,349$, $p<0,05$) en kwadratisch verband ($R^2=0,705$, $p<0,05$) (B) weergave zwakst bevonden lineair verband ($R^2=0,277$, $p<0,05$) (C) weergave zwakst bevonden kwadratisch verband ($R^2=0,426$, $p<0,05$)

DISCUSSIE

In dit onderzoek is onderzocht wat het verband is tussen HRV en fysieke trainingsbelasting bij atleten in de praktijk. Hierbij is gekeken naar de verklaarde variantie tussen HRV en fysieke belasting door middel van regressie analyses (figuur 2). Daarnaast is gekeken naar de overeenkomsten van de lineair en kwadratisch significant bevonden regressiecoëfficiënten. Hierbij is verwacht dat een toegenomen fysieke trainingsbelasting gepaard gaat met een afgenomen HRV waarde (Sartor, et al., 2012; Le Meur, et al., 2013; Ganzevles, 2014).

EMI, trainingsbelasting. De significant bevonden resultaten laten zien dat er een zwak verband is tussen de RMSSD en de EMI van de dag ervoor. Datzelfde geldt voor het verband tussen de RMSSD en de trainingsbelasting van de dag ervoor. Bij de analyses per dag is slechts een gering aantal resultaten significant bevonden (EMI_{dag} : lineair $n=3/22$, kwadratisch $n=4/22$) ($trainingsbelasting_{\text{dag}}$: lineair $n=5/22$, kwadratisch $n=4/22$). Dit betekent dat in dit praktijkgerichte onderzoek geen bevestiging is gevonden voor de aanname dat de, in de ochtend, gemeten RMSSD iets zegt over de EMI en de trainingsbelasting van de dag ervoor.

In het onderzoek van Sartor (2012) bij jonge gymnasten naar het verband tussen de RMSSD en de trainingsbelasting van de dag ervoor werd een hoger percentage verklaarde variantie gevonden

dan in dit onderzoek. De lager bevonden verklaarde variantie in dit onderzoek is mogelijk te wijten aan het feit dat in mindere mate gebruik is gemaakt van gestandaardiseerde omstandigheden tijdens het meten van de HRV (Sartor, et al., 2012; Le Meur, et al., 2013).

Fysieke belasting. De lineair significant bevonden resultaten tonen een matig verband tussen de gemiddelde RMSSD en de berekende fysieke belasting per week. Daarnaast is het kwadratische verband tussen de gemiddelde RMSSD en de berekende fysieke belasting van de significante resultaten gemiddeld sterk bevonden. Dit betekent dat in de significant bevonden resultaten van dit praktijkgerichte onderzoek is gevonden dat de fysieke belasting per week mogelijk effect heeft op de gemiddelde RMSSD per week. Hierbij moet in ogeschouw genomen worden dat er maar bij een gering aantal atleten het betreffende percentage verklaarde variantie significant bevonden is ($Fysieke\ belasting_{\text{week}}$: lineair $n=3/21$, kwadratisch $n=4/21$). Door het geringe aantal significant bevonden resultaten, moet het gevonden percentage verklaarde variantie, lineair matig verband en kwadratisch sterk verband, in twijfel worden getrokken.

Binnen de significant bevonden resultaten is een groot verschil gevonden tussen de analyses per dag en de analyses per week wat betreft het percentage verklaarde variantie. Binnen de

analyses per dag heeft men te maken met sterk variërende waarden van dag tot dag (Le Meur, et al., 2013; Plews, et al., 2013). Door de sterk variërende waarden van dag tot dag is het mogelijk dat uitbuiters invloed hebben op de resultaten van de analyses per dag. In de analyses per week zullen deze uitbuiters in ieder geval deels “weggemiddeld” zijn. Het “wegmiddelen” van de uitbuiters heeft een positief effect op het percentage verklaarde variantie (Brinkman, 2011).

Regressiecoëfficiënten. De gevonden significante regressiecoëfficiënten liepen, zowel lineair als kwadratisch, bij alle uitgevoerde analyses uiteen. Dit betekent dat, bij een toegenomen fysieke trainingsbelasting zowel een hogere als een lagere RMSSD is gevonden. Echter werd verwacht dat een toegenomen fysieke trainingsbelasting zich zou uiten in een afname van de RMSSD. Deze afname van de RMSSD is namelijk wel gevonden in het onderzoek van Sartor (2012) bij jonge turners. Echter zijn slechts twee regressiecoëfficiënten in dat onderzoek significant bevonden, waardoor de uitkomsten mogelijk op toeval kunnen berusten.

Binnen dit onderzoek is onbekend of de metingen, zoals aanbevolen, op een consistente wijze zijn uitgevoerd. De metingen vonden namelijk plaats in de thuissituatie. Dit is echter wel de wijze waarop HRV metingen in de praktijk uitgevoerd zullen worden. Wanneer HRV metingen in de praktijk worden toegepast, bestaat er een kans dat er andere ongecontroleerde factoren de uitkomsten zullen beïnvloeden (Le Meur, et al., 2013). Denk hierbij aan slaapduur, psychologische factoren (Hjortskov, et al., 2004; Hynynen, et al., 2011; Le Meur, et al., 2013), BMI (Vallejo, et al., 2005), voeding, omgeving, bioritme en bloeddruk (Ganzevles, 2014). Deze factoren hebben dus mogelijk invloed gehad op de resultaten in dit onderzoek.

Naast de ongecontroleerde factoren kunnen de resultaten van de fysieke belasting_{week} analyse mogelijk ook beïnvloed zijn doordat de atleet een onbepaald aantal dagen in MPC niet of onvolledig heeft ingevuld. Van de missende dagen is niet met zekerheid te zeggen dat de atleten op deze dagen daadwerkelijk geen training hebben uitgevoerd of dat zij wel een training hebben uitgevoerd maar

hier geen gegevens van hebben ingevuld in MPC. Wanneer dit het geval is, is de berekende fysieke belasting lager uitgevallen dan de daadwerkelijke fysieke belasting per week.

Bij het berekenen van de fysieke trainingsbelasting is in dit onderzoek is niet direct rekening gehouden met de overige (mentale) belasting, bijvoorbeeld door studie of werk gerelateerde stress, welke ook van invloed kan zijn op de gemeten HRV waarden (Meeusen, et al., 2006; Roose, et al., 2009). Echter is bij de bepaling van de fysieke trainingsbelasting op basis van de Foster methode indirect wel psychosociale stress meegewogen in de subjectieve EMI score (Foster, 1998; Lemmink, et al., 2009). Wanneer de atleet te maken heeft met psychosociale stress zal de EMI namelijk hoger gescoord worden.

Binnen dit onderzoek is onbekend of de atleten zich in een training- of wedstrijdperiode bevonden. Deze perioden kunnen wel degelijk invloed hebben op de resultaten. Verhoogde RMSSD waarden kunnen namelijk in de weken voor een belangrijke wedstrijd zowel een positieve als een negatieve trainingsadaptatie betekenen, terwijl een afname van de RMSSD in de week of dagen voor een belangrijke wedstrijd ook kan betekenen dat de atleet in een bepaalde mate van paraatheid komt om een topprestatie te kunnen leveren. (Plews, et al., 2013). Daarnaast is in dit onderzoek ook niet meegenomen wat voor soort training uitgevoerd is, zoals spint-, duur-, interval- of krachttraining, welke mogelijk wel invloed heeft op HRV. (Melanson & Freedson, 2001; Kaikkonen, et al., 2012).

Vele andere onderzoeken zijn specifiek gericht op HRV bij NFOR en OTS. Binnen dit onderzoek was geen informatie beschikbaar over de fysieke gesteldheid van de atleet met betrekking tot mogelijke FOR, NFOR of OTS. De fysieke gesteldheid kan wel degelijk van invloed zijn op de resultaten, omdat bij NFOR en OTS sprake is van een disbalans tussen het sympathische en parasympathische zenuwstelsel (Lemmink, et al., 2009; Makivic, et al., 2013). Bij OTS is bijvoorbeeld een verhoogde parasympathische activiteit gevonden in verschillende onderzoeken (Lehman, et al., 1998; Hedelin, et al., 2000). In grafiek 1B is

een positief verband te zien tussen de gemiddelde RMSSD en fysieke belasting per week dit zou mogelijk op OTS kunnen wijzen. De grens van de fysieke trainingsbelasting die een atleet aan kan, is per individu verschillend en daardoor kunnen geen harde uitspraken gedaan worden over de fysieke gesteldheid van de atleten binnen dit onderzoek met betrekking tot FOR, NFOR en OTS (Foster, et al., 2001). De beperkte informatie over de fysieke gesteldheid van de atleten zou mogelijk een verklaring kunnen zijn voor de uiteenlopende resultaten.

In dit onderzoek zijn uiteenlopende resultaten gevonden bij het percentage verklaarde variantie en de regressiecoëfficiënten. Omdat nagenoeg geen verband is gevonden tussen de fysieke trainingsbelasting per dag (EMI, trainingsbelasting) en de in de ochtend gemeten RMSSD, kan gesteld worden dat de fysieke trainingsbelasting per dag niet weergegeven kan worden door middel van de gemeten RMSSD. Dit hoeft echter niet te betekenen dat HRV niet als losstaande parameter gebruikt kan worden om atleten te monitoren. Daarnaast zijn bij de fysieke belasting_{week} analyses geen eenduidige resultaten gevonden, maar is het gemiddeld bevonden percentage verklaarde variantie (lineair 0.323, kwadratisch 0.515) bij het geringe aantal (lineair $n=3/21$, kwadratisch $4/21$) significante resultaten opmerkelijk te noemen. Op basis van dit onderzoek kan dus niet vastgesteld worden dat de fysieke belasting per week weergegeven kan worden door middel van de in de ochtend gemeten RMSSD. Extra onderzoek met betrekking tot de fysieke belasting per week wordt aangeraden om de bevonden resultaten binnen dit onderzoek nader te kunnen verklaren.

Bij vervolgonderzoek wordt aanbevolen om een overeenkomende groep atleten wat betreft; sport, trainingsschema en niveau te monitoren. De betreffende groep atleten in dit onderzoek is namelijk divers met betrekking tot; leeftijd, gewicht, sport en trainingsduur. Daarnaast is het onbekend op welk niveau de atleten acteerden. Bij een soortgelijke groep atleten worden er mogelijk minder uiteenlopende resultaten gevonden en zal de fysieke gesteldheid van de atleten mogelijk meer overeenkomen. Hierbij wordt tevens aanbevolen om extra fysiologische parameters,

zoals bloeddruk, rusthartslag, slaapduur, slaapkwaliteit en een prestatie maat op te nemen in vervolgonderzoeken. Wanneer uiteenlopende waarden gevonden worden, kan dit mogelijk verklaard worden met behulp van de fysiologische parameters.

CONCLUSIE

In dit praktijkgerichte onderzoek is geen aantoonbaar verband gevonden tussen de EMI, trainingsbelasting per dag en de, na het ontwakken, gemeten HRV op de dag erna. Daarnaast kan door het geringe aantal (lineair $n=3/21$, kwadratisch $n=4/21$) significant bevonden resultaten en de uiteenlopende regressiecoëfficiënten niet worden vastgesteld of er een relatie is tussen de fysieke belasting en de gemiddelde HRV per week. Om het bevonden gemiddelde percentage verklaarde variantie (lineair 0.323, kwadratisch 0.515) in de analyses per week te verklaren, wordt nader onderzoek aanbevolen waarbij de fysieke gesteldheid van atleten duidelijk in kaart moet worden gebracht.

LITERATUUR

- Acharya, U. et al., 2006. Heart rate variability: a review. *Med Bio Eng Comput*, pp. 44:1031-1051.
- Aubert, A., Seps, B. & Beckers, F., 2003. Heart rate variability in Athletes. *Sports Med*, pp. 33(12):889-919.
- Beaumont, A. et al., 2012. Reduced cardiac vagal modulation impacts on cognitive performance in chronic fatigue syndrome. *PLoS ONE*, p. 7(11):e49518.
- Borg, G., 1982. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, pp. 14:377-381.
- Bosquet, S., Merkari, S., Arvisais, D. & Aubert, A., 2008. Is heart rate a convenient tool to monitor overreaching? A systematic review of the literature. *Br J Sports Med*, pp. 42:709-714.
- Brinkman, J., 2011. *Cijfers spreken: Overtuigen met onderzoek en statistiek*. 5e druk red. Groningen/Houten: Noordhoff Uitgevers.
- Burgerhout, W., Mook, G., de Morree, J. & Zijlstra, W., 2006. *Fysiologie, leerboek voor paramedische opleidingen*. Maarssen: Elsevier gezondheidszorg.

- Firstbeat, T., maart 2009. Heart beat based recovery analysis for athletic training. *white paper by firstbeat technologies ltd.*, pp. 1-4.
- Fiskerstrand, A. & Seiler, K., 2004. Training and performance characteristics among Norwegian international rowers 1970-2001. *Scand J Med Sci Sports*, pp. 14-(5):303-310.
- Foster, C., 1998. Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Med Sci Sports Exerc*, pp. 30(7):1164-8.
- Foster, C. et al., 2001. A new approach to monitoring exercise training. *J of Strength and Conditioning Res*, pp. 15(1):109-115.
- Ganzevles, S., 2014. Longitudinale monitoring van HRV en HRR. Volgen van herstel en belastbaarheid bij topzwemmer. *Sportgericht*, pp. 1:2-8.
- Garde, A., Laursen, B., Jorgensen, A. & Jensen, B., 2002. Effects of mental and physical demands on heart rate variability and blood pressure variability during computer work. *Eur J Appl Physiol*, pp. 87:456-461.
- Halson, S. & Jeukendrup, A., 2004. Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sports Med*, pp. 34:967-81.
- Hammilton, R., McKechnie, P. & Macfarlane, P., 2004. Can cardiac vagal tone be estimated from the 10-second ECG?. *Int J Cardiol*, pp. 95(1):109-15.
- Hedelin, R., Wiklund, U., Bjerle, P. & Hendriksson-Larsen, K., 2000. Cardiac autonomic imbalance in an overtrained athlete. *Med Sci Sports Exerc*, pp. 31(9):1531-1533.
- Hjortskov, N. et al., 2004. The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work. *Eur J Appl Physiol*, pp. 92:84-89.
- Hoshikawa, Y. & Yamamoto, Y., 1997. Effects of stroop colour word conflict test on the autonomic nervous system responses. *Am J Physiol*, pp. 272:H1113-H1121.
- Hynynen, E. et al., 2011. The incidents of stress symptoms and heart rate variability during sleep and orthostatic test. *Eur J Appl Physiol*, pp. 111:733-741.
- Hynynen, E., Uusitalo, A., Kontinen, N. & Rusko, H., 2006. Heart rate variability during night sleep and after awakening in overtrained athletes. *Med Sci Sports Exerc*, pp. 38(2):313-7.
- Kaikkonen, P. et al., 2010. Can HRV be used to evaluate trainingload in constant load exercises. *Eur J Appl Physiol*, pp. 108:435-442.
- Kaikkonen, P. et al., 2012. Heart rate variability is related to training load variables in interval running exercises. *Eur J Appl Physiol*, pp. 112:829-838.
- Kellmann, M. & Kallus, K., 2001. Recovery-stress questionnaire for athletes. User manual. *Human Kinetics, Campaign*.
- Kenttä, G. & Hassmén, P., 1998. Overtraining and recovery; een conceptual model. *Sports Med*, pp. 26(1):1-16.
- Kinnunen, M. et al., 2006. Stress and relaxation based on heart rate variability: Associations with self-reported mental strain and differences between waking hours and sleep. *Nordic Ergonomics Society congress*, pp. 1-5.
- Laursen, P., 2010. Training for intense exercise performance: High-intensity or high-volume training?. *Scand J Med Sci Sports*, pp. 20(Suppl. 2):1-10.
- Le Meur, Y. et al., 2013. Evidence of parasympathetic hyperactivity in Functional overreached athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 45(11), pp. 2061-2071.
- Lehman, M., Foster, C., Dickhuth, H. & U, G., 1998. Autonomic imbalance hypothesis and overtraining syndrome. *Med Sci Sports Exerc*, pp. 30(7):1140-5.
- Leite, G. et al., 2012. Analysis of knowledge production about overtraining associated with heart rate variability. *J Exerc Physiol onl*, pp. 15(2):20-29.
- Lemmink, K., Brink, M. & Nederhof, E., 2009. Overtraindheid in de sport: stand van zaken en mogelijkheden voor preventie. *Jaarboek Fysiotherapie Kinesitherapie*, pp. (6)101-113.
- Makivic, B., Nikic, M. & Willis, M., 2013. Heart rate variability (HRV) as a tool for diagnostic and monitoring performance in sport and physical activities. *J of Exercise Physiol*, pp. 16(3):103-131.
- Malik, M., 1996. Heart rate variability; Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Eur Heart J*, pp. 17:354-381.
- Meeusen, R. et al., 2006. Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome. *Eur J Sport Sci*, pp. 6(1):1-14.
- Meeusen, R. et al., 2004. Hormonal responses in athletes: the use of a two bout exercise protocol to detect subtle differences in (over)training status. *Eur J Appl Physiol*, pp. 91(2-3):140-146.

- Melanson, E. & Freedson, P., 2001. The effect of endurance training on resting heart rate variability in sedentary adult males. *Eur J Appl Physiol*, pp. 85:442-449.
- Mourot, L. et al., 2004. Decrease in heart rate variability with overtraining: assessment by the Poincaré plot analysis. *Clin Physiol Funct Imaging*, pp. 24:10-18.
- Nederhof, E., Volkers, K., Dekker, R. & Lemmink, K., 2006. Trainingsdagboeken: Theorie en praktijk. *Geneeskunde en sport*, pp. 39(5):175-179.
- Noble, B., 1982. Clinical applications of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, pp. 14:406-411.
- Penttilä, J. et al., 2001. Time domain, geometrical and frequency domain analysis of cardiac vagal outflow: effects of various respiratory patterns. *Clin Physiol*, pp. 21(3):356-76.
- Perini, R. & Veicsteinas, A., 2003. Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various psychological conditions. *Eur J Appl Physiol*, pp. 90:317-325.
- Plews, D., Laursen, P., Kilding, A. & Buchheit, M., 2012. Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison. *Eur J Appl Physiol*, pp. 112:3729-3741.
- Plews, D., Laursen, P., Kilding, A. & Buchheit, M., 2013. Evaluating training adaptation with heart rate measures: a methodological comparison. *Int J Sports Physiol Perform*, p. Epub.
- Plews, D. et al., 2013. Monitoring training with heart rate variability: how much compliance is needed for a valid assessment?. *Int J of Sports Physiol Perform*, p. Epub.
- Plews, D. et al., 2013. Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring. *Sports Med*, pp. DOI:10.1007/s40279-013-0071-8.
- Roose, J. et al., 2009. Evaluation and opportunities in overtraining approaches. *Res Quarterly Exerc Sport*, pp. 80(4):756-764.
- Sartor, F. et al., 2012. Heart rate variability reflects training load and psychophysiological status in young elite gymnasts. *Journal of Strength and Conditioning Research*, pp. 27(10):2782-2790.
- Seiler, S., 2010. What is best practice for training intensity and duration distribution in enduring athletes. *Int J Sports Physiol Perform*, pp. 5(3):276-291.
- Skinner, J., Hustler, R., Bergsteinova, V. & Buskirk, E., 1973. The validity and reliability of rating scale of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, pp. 5:97-103.
- Szjatzel, J., 2004. Heart rate variability: a noninvasive electrocardiographic method to measure the autonomic nervous system. *Swiss Med WKLY*, pp. 134:514-522.
- Tian, Y. et al., 2012. Heart rate variability threshold values for early-warning nonfunctional overreaching in elite female wrestlers. *J Strength Cond Res*, pp. 27(6):1511-1519.
- Uusitalo, A. et al., 2004. Abnormal serotonin reuptake in an overtrained, insomniac and depressed team athlete. *Int J Sports Med*, pp. 25(2):150-153.
- Vallejo, M. et al., 2005. Age, body mass index, and menstrual cycle influence young women's heart rate variability, a multi variable analysis. *Clin Auton Res*, pp. 15:292-298.
- Vanderlei, L. et al., 2009. Basic notions of heart rate variability and its clinical applicability. *Rev Bras Cir Cardiovasc*, pp. 24(2):205-217.
- Vikulov, A., Nemirov, A., Larionov, E. & Shevchenko, A., 2005. Heart rate variability in subjects with increased motor activity and athletes. *Human Physiol*, pp. 31(6):666-671.
- Vrijkotte, T., van Doornen, J. & de Geus, E., 2000. The effect of work stress on ambulatory blood pressure, Heart rate, and heart rate variability. *Hypertension*, pp. 35:880-886.
- Wahlstrom, K. et al., 2002. Influence of time pressure and verbal provocation on physiological and psychological reactions during work with a computer mouse. *Eur J Appl Physiol*, pp. 87:257-263.
- Weippert, M. et al., 2010. Comparison of three mobile devices for measuring R-R intervals and heart rate variability: Polar S810i, Suunto t6 and an ambulatory ECG system. *Eur J Appl Physiol*, pp. 109:779-786.