Maastricht University

Variability of physiological responses to exercise

Citation for published version (APA):

Kuipers, H. (1983). *Variability of physiological responses to exercise*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Vrieseborch. https://doi.org/10.26481/dis.19830610hk

Document status and date:
Published: 01/01/1983

DOI:
10.26481/dis.19830610hk

Document Version:
Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

• A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
• The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
• The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

Link to publication

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.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the “Taverne” license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

Download date: 13 May. 2024

9. SUMMARY AND CONCLUSIONS

The aim of the present study was to evaluate the variability of physical performance and of physiological responses to a standardized exercise test with gradually increasing workloads. The influence of the menstrual cycle on physical performance was included in the study. Besides, the relationship between oxygen uptake and external workload was investigated. The validity of some laboratory tests, generally used to estimate physical endurance and the relationship between physiological variables and subjective perception of fatigue were studied as well.

Nineteen subjects, 11 males and 8 females, who were physically active at the recreational level, participated in the study. Weekly, they performed a standard exercise test with increasing workloads. Each subject performed the test at least 14 times. Each volunteer had an individual protocol based upon the mean of the maximal workloads attained in 2-3 preliminary tests (mean test-Wmax). Each test started at 70% of the mean test-Wmax. This load was maintained for 5 minutes, whereupon each 2½ minute the workload was increased by a load which was 5% of the mean test-Wmax. In each test the load was increased until exhaustion. At rest, during the last 30 seconds of each workload and 1 and 5 minutes after exercise the following variables were determined: heart rate, expiratory volume ($\dot{V}_E$), respiratory rate, oxygen uptake ($\dot{V}O_2$), respiratory exchange ratio (R), respiratory equivalent ($\dot{V}_E/\dot{V}O_2$), lactate concentration, pH, pCO_2 and O_2 saturation in venous blood, and back-skin and tympanic temperature. Besides, maximal workload attained (Wmax) and mechanical efficiency were assessed. Before the test started, the subjects were asked to estimate the Wmax value which they thought to achieve. This question was repeated after the first 5 minutes of exercise. At the end of the test the subjects had to score on a 10-point scale the subjective feelings at the moment of exhaustion, such as general fatigue, respiratory stress, heat stress, pain or loss of strength in the muscles (chapter 2).

The accuracy of the methods to measure the physiological variables was estimated by comparing calibration values with the registrated values, and/or by comparing the results of duplicate or repeated

measurements (chapter 3).

Wmax and $\dot{V}O_2$max varied in all subjects in a random way (chapter 4). The coefficient of variation in Wmax varied inter-individually from 2,95 to 6,83% (mean 4,79%), and that of $\dot{V}O_2$max from 4,20 to 11,35% (mean 7,58%). Discrepancies between Wmax and $\dot{V}O_2$max were observed frequently. No seasonal influences or influences of the menstrual cycle on $\dot{V}O_2$max and Wmax could be established. By grouping the experiments in each subject according to the Wmax attained and by plotting the physiological variables as a function of external workload, a shift in these variables, related to the Wmax attained, was found. This means a shift to the left at lower Wmax values an to the right at higher Wmax values. If per subject the variables were plotted as a function of relative workload, the shift disappeared, indicating that the magnitude of physiological responses to exercise is related to relative rather than absolute workload. This finding implicates that within a subject a given relative workload is associated with values of the various physiological variables within narrow limits.

Considerable inter-individual differences in physiological responses to exercise were found (chapter 5). Within one subject the physiological responses may vary up to 10%, even in experiments in which the same Wmax is attained. The relationship between oxygen uptake and external workload could be characterized by a linear regression equation. Because no levelling off of oxygen uptake was found at higher workloads, $\dot{V}O_2$max can be estimated from this equation by determining Wmax. In some subjects, systematic over- or underestimation of $\dot{V}O_2$max may amount to approximately 10%.

In chapter 6 some parameters, which are used to estimate physical endurance, were evaluated. Recovery of heart rate is no reliable parameter for physical endurance. In some subjects systematic differences up to 19% were found between $\dot{V}O_2$max as estimated from heart rate at a given submaximal workload and the measured $\dot{V}O_2$max. Within one subject, in experiments in which the same Wmax was attained, the variation of heart rate at a given workload leads to an intra-individual variation in predicted $\dot{V}O_2$max of some percents. Therefore within a subject $\dot{V}O_2$max may be over- or underestimated systematically, while the reproducibility of estimated and measured $\dot{V}O_2$max are similar. Changes in

anaerobic threshold, being the workload at which the blood lactate concentration amounts to 4 $mmol.l^{-1}$, were generally associated with changes in Wmax. However, from a change in the workload at which the blood lactate concentration amounts to 4 $mmol.l^{-1}$, Wmax cannot be predicted accurately because of the intra-individual variation in blood lactate concentration at a given workload which varied between subjects from ±3 to ±7%. In a separate study the endurance time at a constant workload, 80% of the individual Wmax as measured in a previous test, was investigated. In comparable tests a difference in endurance time up to 100% was found between as well as within individuals. The moment of exhaustion was not reflected in the values of the physiological variables such as heart rate or blood lactate concentration.

The relationship between perceived physical signs of fatigue and physiological variables were investigated in chapter 7. Before exercise started the subjects could not predict Wmax accurately. However, after the first 5 minutes of exercise, Wmax could be estimated rather accurately from physical signs. Respiratory stress and general fatigue tended to be increased at higher Wmax values, while pain in the muscles was more often reported at lower Wmax values. A relatively large variation in stress factors at the moment of exhaustion was observed, inter- as well as intra-individually. No clear relationship could be found between stress factors and physiological variables. This supports the view that the phenomenon of fatigue is rather complex and remains incompletely understood.

In conclusion:

- Wmax and $\dot{V}O_2max$ vary on a week to week basis, which is independent of the season, the phase of the menstrual cycle or the level of physical performance.

- the variation in $\dot{V}O_2max$ is more pronounced than that in Wmax, while discrepancies may occur between changes in $\dot{V}O_2max$ and Wmax.

- Wmax is probably a more sensitive parameter for changes in physical

endurance than $\dot{V}O_2max$.

- within a subject the magnitude of the physiological responses to exercise is related to relative rather than absolute workload.

- physiological responses to a standardized test may vary up to 10% inter- as well as intra-individually.

- $\dot{V}O_2max$ can be estimated from heart rate at a submaximal workload or from Wmax, because oxygen uptake and external workload are linearly related without levelling off of oxygen uptake at higher workloads. Generally, estimating $\dot{V}O_2max$ from Wmax is more accurate than from submaximal heart rate.

- changes in Wmax are generally associated with changes in anaerobic threshold. In experiments with the same Wmax value, the variation in anaerobic threshold varies between individuals from ±3 to ±7%.

- no significant relationship was found between perceived signs of fatigue at the moment of exhaustion and physiological variables.

10. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Spierarbeid vraagt energie. Hoe meer energie de spier ter beschikking krijgt, hoe meer arbeid geleverd kan worden. De energie, nodig voor het samentrekken van spieren wordt geleverd door splitsing van een in de spier aanwezige energierijke fosfaatverbinding, het ATP. Het ATP is te beschouwen als een universele energieleverancier voor alle cellulaire processen die energie kosten. Naast voortdurende splitsing van ATP, ook in rust, vindt continue nieuwvorming (resynthese) plaats. Dit kan op verschillende manieren gebeuren. Als de cel genoeg zuurstof ter beschikking heeft, wordt pyrodruivenzuur, dat via chemische afsplitsing uit glucose ontstaat, in de mitochondrien (de "energiecentrales" van de cel) volledig verbrand tot kooldioxide en water. Omdat dit proces zuurstof vraagt wordt dit wel aerobe stofwisseling genoemd. Dit aerobe proces gaat relatief langzaam en levert maximaal 2,2 mmol ATP per kilogram droog spiergewicht per seconde. Als de ATP afbraak de aerobe resynthese capaciteit overtreft, zoals bij zware arbeid, kan extra ATP gemaakt worden door anaerobe afbraak (zonder zuurstof) van glucose. De ontstane hoeveelheid pyrodruivezuur die niet meer volledig in de mitochondrien kan worden verbrand, wordt in melkzuur (lactaat) omgezet (anaerobe glycolyse). Dit proces is sneller dan de aerobe verbranding en levert per seconde ongeveer 2 keer zoveel ATP. Het lactaat verzuurt echter het cellulaire milieu waardoor o.a. de anaerobe glycolyse zelf geremd wordt. Vooral bij maximale inspanningen tot ±60 seconden speelt anaerobe glycolyse een zeer belangrijke rol voor het snel leveren van ATP. Als het lichaam vanuit rust zich maximaal moet gaan inspannen wordt het ATP zeer snel verbruikt. Omdat de glycolyse enige tijd nodig heeft om op gang te komen, vindt gedurende de eerste seconden snelle resynthese van ATP plaats door splitsing van een ander in de cel aanwezig energierijk fosfaat, het creatinefosfaat (CP). Door deze snelle reactie wordt ongeveer 12 mmol ATP per kg droog gewicht per seconde gewonnen. Helaas is de CP voorraad slechts voldoende om enkele seconden maximale inspanning mogelijk te maken.

Sportprestaties kunnen op grond van de energieleverantie als volgt worden onderverdeeld:

a. Inspanningen die tot 1 minuut duren, zijn vooral afhankelijk van

anaerobe energiewinning. We spreken wel van anaeroob uithoudingsvermogen.

b. Inspanningen tussen 1 en 10 minuten zijn vooral afhankelijk van energiewinning die aeroob maximaal geleverd kan worden. Hier is het aerobe uithoudingsvermogen een zeer belangrijke faktor voor de sportprestatie.

c. Bij inspanningen die langer duren zoals marathon e.d. is het van belang dat de atleet kan werken op een hoog percentage van zijn maximale aerobe energieleverantie. Hier is ook het aerobe uithoudingsvermogen erg belangrijk.

Omdat begeleiders van sporters graag geinformeerd willen worden over de effecten van training heeft men getracht methodes te vinden om het uithoudingsvermogen te schatten. Een belangrijke voorwaarde voor een goed uithoudingsvermogen is de energieleverantie. Terwijl het meten van anaerobe energiewinning moeilijk is, kan aerobe energiewinning relatief gemakkelijk gemeten worden. Het is bekend hoeveel energie het lichaam met behulp van een liter zuurstof kan vrijmaken. Hoe hoger het vermogen om zuurstof op te nemen is, hoe meer energie geleverd kan worden, en hoe hoger het aerobe uithoudingsvermogen zal zijn. Daarom wordt de maximale zuurstofopname ($\dot{V}O_2max$) als belangrijke parameter (maat) voor het uithoudingsvermogen van duursporters gebruikt. Het meten van de $\dot{V}O_2max$ vraagt echter een goed geoutilleerd laboratorium, zodat gezocht is naar methodes om de $\dot{V}O_2max$ te schatten bijvoorbeeld uit de hartfrequentie die bij een submaximale belasting bereikt wordt (de Åstrand-Rhyming test). Een andere methode om het uithoudingsvermogen te schatten is het bepalen van de belasting waarbij het lactaat in het bloed 4 $mmol.l^{-1}$ is, omdat verondersteld wordt dat deze concentratie de grens aangeeft waarbij de stofwisseling van aeroob naar anaeroob overgaat. In de praktijk worden verschillen in test resultaat vaak vertaald in veranderingen van het uithoudingsvermogen. Het is echter niet bekend of variaties in deze geschatte waarden ook betekenen dat het uithoudingsvermogen inderdaad veranderd is omdat niet precies bekend is hoe reproduceerbaar zo'n laboratoriumtest is. Naast deze vraag zijn er in de sportpraktijk nog andere niet opgeloste problemen die van belang zijn voor het begeleiden van sporters. Zo is

het bekend dat het prestatievermogen van sporters zonder aanwijsbare oorzaak kan varieren. Verder bestaan er tegenstrijdige opvattingen over de invloed van de menstruele cyclus op het prestatievermogen bij de vrouw. Deze onduidelijkheden hebben geleid tot de huidige studie waarbij getracht werd een antwoord te geven op de volgende vragen:

- wat is de variabiliteit van het fysieke prestatievermogen en de fysiologische reakties, tijdens het uitvoeren van een gestandaardiseerde fietsergometerproef.
- welke invloed heeft de menstruele cyclus op het prestatievermogen.
- wat is de relatie tussen uitwendige belasting en zuurstofopname.
- wat is de validiteit (waarde) van de laboratorium testen die algemeen gebruikt worden om het prestatievermogen te schatten.
- welke relatie is er tussen subjectieve gevoelens van vermoeidheid en fysiologische variabelen.

Om deze vragen te kunnen beantwoorden, werden 11 mannelijke en 8 vrouwelijke proefpersonen wekelijks aan een fietsergometertest onderworpen. De proefpersonen waren lichamelijk aktief op recreatief niveau. In hoofdstuk 2 worden de in deze studie gebruikte methodes beschreven. Iedere proefpersoon had zijn eigen belastingsprotocol. Om dit protocol vast te kunnen stellen, werd elke proefpersoon 2-3x getest, waarbij steeds het maximaal gehaalde vermogen werd bepaald (test-Wmax). Het gemiddelde van deze 2-3 waardes, het gemiddelde maximale vermogen, werd als uitgangspunt voor het protocol genomen. Dit protocol bestond uit het gedurende 5 minuten fietsen op 70% van het gemiddelde maximale vermogen, waarna elke 2½ minuut de belasting werd opgevoerd met een stapgrootte die 5% van het gemiddelde maximale vermogen bedroeg. De belasting werd opgevoerd tot uitputting. In rust, gedurende de laatste 30 seconden van elke belastingsstap en 1 en 5 minuten na afloop van de test werden de volgende fysiologische variabelen gemeten: hartfrequentie, ademminuutvolume ($\dot{V}_E$), ademfrequentie, zuurstofopname ($\dot{V}O_2$), respiratoir quotient (R), ademequivalent ($\dot{V}_E/\dot{V}O_2$), lactaatconcentratie, pH, pCO_2, en O_2 saturatie (=verzadiging) in het veneuze bloed en de huid- en trommelvliestemperatuur. De hoogste belastingsstap die werd bereikt (Wmax) en de mechanische

efficientie werden eveneens bepaald. Verder moesten de proefpersonen voor aanvang van de test en na de eerste 5 minuten belasting voorspellen wat ze die dag voor maximale belasting zouden halen. Na afloop werd gevraagd hoe ze zich voelden op het moment van uitputting voor wat betreft ademstress, pijn in de spieren of krachtsverlies en algemene vermoeidheid.

In hoofdstuk 3 wordt beschreven hoe nauwkeurig de methodes zijn om de verschillende fysiologische variabelen te meten. Dit werd nagegaan door vergelijking van meetresultaten met ijkwaarden en/of aan de hand van duplo of meerdere metingen.

In hoofdstuk 4 wordt beschreven dat de Wmax en $\dot{V}O_2$max waardes varieren zonder dat hierin een speciaal patroon kan worden waargenomen. Tussen individuen varieerde de variatie-coefficient voor Wmax van 2,95 tot 6,83% (gemiddeld 4,79%) en voor $\dot{V}O_2$max van 4,20 tot 11,35% (gemiddeld 7,58%). Er werden frequent discrepanties tussen Wmax en $\dot{V}O_2$max gevonden. Geen invloed van jaargetijde en menstruele cyclus op Wmax en $\dot{V}O_2$max kon worden aangetoond. Door experimenten binnen elke proefpersoon te groeperen naar de bereikte Wmax waarde, bleek er, afhankelijk van de hoogte van de Wmax, een verschuiving op te treden in de fysiologische variabelen als deze werden uitgezet als functie van de belasting. Dit wil zeggen een verschuiving naar links bij lage Wmax waardes en een verschuiving naar rechts bij hoge Wmax waardes. De verschuiving verdween als de fysiologische variabelen werden uitgezet als functie van de relatieve belasting. Dit betekent dat voor elke proefpersoon bij een bepaalde relatieve belasting min of meer vaste waardes van de verschillende fysiologische variabelen horen.

In hoofdstuk 5 wordt beschreven dat er inter- en intra-individuele verschillen in fysiologische reactie tijdens inspanning kunnen bestaan tot zo'n 10%. Zelfs als eenzelfde Wmax waarde bereikt wordt, kan er binnen een persoon een variatie in de fysiologische variabelen bij een zelfde belasting te zien zijn, van soms 10%. De relatie tussen zuurstofopname en belasting kan worden benaderd door een lineaire regressie-vergelijking omdat er geen afvlakking van de zuurstofopname (levelling off) bij hoge belastingen werd gezien. De $\dot{V}O_2$max kan uit deze vergelijking geschat worden door de Wmax te bepalen. Voor sommige proefpersonen kan een systematische over- of onderschatting van de

$\dot{V}O_2$max tot ongeveer 10% worden gevonden.

In hoofdstuk 6 worden enkele methodes geevalueerd, die in de praktijk gebruikt worden, om of het uithoudingsvermogen, of veranderingen daarin, te schatten. Het herstel van de hartfrequentie bleek geen relatie te hebben met de Wmax en lijkt derhalve geen goede maat te zijn voor schatting van het uithoudingsvermogen. De $\dot{V}O_2$max waardes, geschat uit de hartfrequentie bij een bepaalde submaximale belasting (de Åstrand test), bleken bij proefpersonen systematisch te kunnen verschillen van de gemeten $\dot{V}O_2$max waardes. Het verschil tussen voorspelde en gemeten $\dot{V}O_2$max waardes was bij enkele proefpersonen 19%. Binnen een proefpersoon bleken bij experimenten met eenzelfde Wmax variaties in hartfrequentie te leiden tot een spreiding in de geschatte $\dot{V}O_2$max van enkele procenten. Deze spreiding is vergelijkbaar met die van de direkte $\dot{V}O_2$max metingen. Daarom kan gesteld worden dat de $\dot{V}O_2$max systematisch over- of onderschat kan worden, terwijl de reproduceerbaarheid van voorspelde en gemeten $\dot{V}O_2$max vergelijkbaar is. De belasting waarbij de bloedlactaat concentratie 4 mmol per liter bedroeg (anaerobe drempel), verschoof in het algemeen naar een hogere waarde als de Wmax een hogere waarde bereikte. Er werden incidenteel variaties in de melkzuurconcentratie bij een gegeven belasting gevonden van meer dan 10%, ondanks een zelfde Wmax. In het algemeen echter schommelde de variatie in anaerobe drempel tussen de proefpersonen bij eenzelfde Wmax waarde tussen ±3 tot ±7%. Een daling of steiging van de belasting waarbij de lactaatconcentratie 4 mmol per liter bedraagt, hoeft derhalve niet te betekenen dat het uithoudingsvermogen daadwerkelijk is veranderd. De volhoudtijd bij een belasting van 80% van de van te voren bepaalde Wmax, bleek sterk te kunnen varieren, onafhankelijk van veranderingen in Wmax. Uitputting kwam niet tot uitdrukking in de fysiologische variabelen als hartfrekwentie en lactaatconcentratie in het bloed.

De relatie tussen subjectieve gevoelens van vermoeidheid en fysiologische variabelen wordt beschreven in hoofdstuk 7. Het bleek dat proefpersonen in rust moeilijk hun prestatie konden voorspellen, terwijl dit wel goed mogelijk was na de eerste 5 minuten belasting. Ademstress en algemene vermoeidheid neigden hoger te scoren bij toename van de Wmax. Pijn in de spieren daarentegen kwamen vaker voor bij

lagere Wmax waardes. Tussen de verschillende personen bestond een relatief grote variatie in scores van de verschillende stressfactoren, zoals die ervaren werden op het moment van uitputting. Ook binnen individuen bestond een aanzienlijke variatie in subjectieve gevoelens op het moment van uitputting. Er was geen duidelijk verband aantoonbaar tussen verschillende subjectieve gevoelens van stress en fysiologische variabelen. Dit steunt de opvatting dat het verschijnsel vermoeidheid zeer complex is en maar zeer ten dele wordt begrepen.

Samenvattend kan gesteld worden dat:

- Wmax en $\dot{V}O_2$max van week tot week varieren, terwijl er geen verband bestaat met de menstruele cyclus, het jaargetijde en het prestatievermogen.

- de variatie in $\dot{V}O_2$max groter is dan die in Wmax, terwijl er discrepanties tussen veranderingen in $\dot{V}O_2$max en Wmax kunnen voorkomen.

- Wmax waarschijnlijk een gevoeliger maat voor veranderingen in uithoudingsvermogen is dan $\dot{V}O_2$max.

- bij elke proefpersoon de grootte van de fysiologische reacties op inspanning gerelateerd is aan de relatieve en niet aan de absolute belasting. Dit betekent dat binnen een persoon bij een gegeven relatieve belasting waardes voor de verschillende fysiologische variabelen gevonden worden, die binnen nauwe grenzen liggen.

- de fysiologische reacties op inspanning niet alleen tot zo'n 10% kunnen varieren tussen personen, doch ook binnen een individu.

- $\dot{V}O_2$max geschat kan worden uit de hartfrequentie bij een submaximale belasting en uit de Wmax omdat er een lineair verband bestaat tussen zuurstofopname en uitwendige belasting, terwijl er geen afvlakking van de zuurstofopname bij hoge belasting optreedt.
  Het schatten van de $\dot{V}O_2$max uit de Wmax is in het algemeen wat nauwkeuriger dan het schatten van de $\dot{V}O_2$max uit de hartfrekwentie bij

een submaximale belasting.

- veranderingen in Wmax in het algemeen samen gingen met veranderingen in de anaerobe drempel. In experimenten waarbij dezelfde Wmax waarde gehaald werd, schommelde de variatie in de anaerobe drempel tussen de proefpersonen van ±3-±7%.

- er tijdens uitputting geen duidelijk verband gevonden wordt tussen subjectieve gevoelens van vermoeidheid en fysiologische variabelen.