

University of Groningen

## Combined arm-leg ergometry in persons with a lower limb amputation

Simmelink, Elisabeth Katharina

DOI:  
[10.33612/diss.178118244](https://doi.org/10.33612/diss.178118244)

**IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.**

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

*Publication date:*  
2021

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

*Citation for published version (APA):*

Simmelink, E. K. (2021). *Combined arm-leg ergometry in persons with a lower limb amputation*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. University of Groningen.  
<https://doi.org/10.33612/diss.178118244>

### Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

### Take-down policy

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

*Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.*

Summary

Nederlandse samenvatting

Dankwoord

About the author

Research Institute SHARE:  
previous dissertations

## Summary

A lower limb amputation (LLA) is one of the main patient categories in rehabilitation medicine and is in about 90% related to peripheral arterial disease and diabetes mellitus (DM). Having a LLA mostly results in a severe decline in physical fitness. Poor physical fitness influences the progress of rehabilitation in a negative way. Often the physical strain during rehabilitation is insufficient to elicit potential improvements in cardiorespiratory fitness. It is suggested that gait training with a prosthesis should be accompanied by some kind of endurance exercise training to improve the overall cardiorespiratory and muscular systems of physical fitness. Individualized training requires individualized goal setting, based on a safe, feasible, valid and reliable cardiopulmonary exercise test (CPET). Cardiorespiratory fitness or aerobic exercise capacity can be measured with CPET by determining different parameters as peak oxygen uptake ( $VO_{2peak}$ ), peak power output and peak heart rate.

Different ergometers were used in the past to measure the cardiorespiratory fitness in persons with a LLA like a motor driven treadmill (only in those with walking ability with a prosthesis), one-legged cycle ergometer, arm ergometer, rowing ergometer or a combined arm-leg ergometer. In order to measure the cardiorespiratory fitness validly and reliably, it is important to apply a testing protocol that involves the largest possible active muscle mass during exercise. When using a large muscle mass during testing, more oxygen is consumed which allows a more reliable estimate of peak  $VO_2$  and heart function.

In persons with a LLA combined arm-leg ergometry with the Cruiser ergometer seems suitable to use for exercise testing because a lot of muscle mass is involved. Other advantages of the Cruiser ergometer are that persons with a LLA can perform the test in a safe relatively low sitting position with proper back support and with support for the residual limb, while using one leg, both arms and trunk, without external help.

However the movement on the Cruiser ergometer is for most people an unknown form of cyclic multi-limb exercise. This implicates that the movement may be subject to natural motor learning, i.e. learning through practice. Before developing the studies described in this thesis, it was not clear which learning effects are existent when exercising on the Cruiser ergometer and whether there are differences between one-legged and two-legged exercise. When using the Cruiser ergometer for exercise testing in persons with a LLA, it is important that it enables evaluation of undiagnosed exercise intolerance, exercise-related

symptoms and determination of peak aerobic capacity is possible in a feasible, safe, reliable and valid way. In addition, with the results of the exercise test, individual prescription of the optimal training dose during the rehabilitation program after a LLA should be possible.

The general aim of this thesis is to determine whether the Cruiser ergometer is clinically applicable as an instrument for cardiopulmonary exercise testing in persons with a LLA.

In this respect, the following sub-aims are formulated:

- To compare and understand the physiology of submaximal cyclic exercise on the Cruiser ergometer, regular cycling and treadmill hand cycling on cardiorespiratory variables, gross mechanical efficiency (GE) and perceived exertion in healthy persons.
- To study potential motor learning effects during low-intensity submaximal steady state one-legged and two-legged practice on the Cruiser ergometer in healthy persons with respect to GE and cardiorespiratory strain.
- To establish the repeatability and validity of peak exercise testing on the Cruiser ergometer in a population of healthy persons.
- To determine the feasibility, safety, and reliability of (sub)maximal exercise testing on the Cruiser ergometer in a study population with a LLA.
- To determine the inter-observer and intra-observer reliability of the first (VT1) and second (VT2) ventilatory thresholds in subjects with a unilateral LLA and able bodied subjects during a peak exercise test on the Cruiser ergometer.

**Chapter 2** describes the GE, cardiorespiratory strain and perceived exertion of low-intensity Cruiser ergometer exercise and these results are compared with leg cycling and hand cycling. Ten healthy able-bodied men and 12 healthy able-bodied women enrolled in 4 discontinuous submaximal graded exercise tests on respectively the Cruiser ergometer, a bicycle ergometer, a handbike on a motor driven treadmill and again the Cruiser ergometer. Each test was following the same protocol and consisted of seven bouts of 3 min exercise ranging from 20 to 45W. GE measured on the Cruiser ergometer did not differ from cycling but was higher than in handcycling. A comparable cardiorespiratory strain was established between the Cruiser ergometer test and bicycle test, but

a significantly higher cardiorespiratory strain was found for handcycling. The repeated test on the Cruiser ergometer showed no differences compared to the initial test. Under the current testing conditions, men appeared less efficient than woman. We conclude that GE and cardiorespiratory strain in submaximal exercise on the Cruiser ergometer is comparable to exercise on the bicycle ergometer under the current submaximal testing conditions. This suggests that the Cruiser ergometer can be a suitable instrument to use in training and exercise testing in persons with a LLA.

**Chapter 3** describes a low-intensity practice study on the Cruiser ergometer among healthy individuals. The aim was to study whether differences exist in cardiorespiratory variables and GE comparing one-legged and two-legged exercise on the Cruiser ergometer and whether motor learning occurs over time. Twenty-eight healthy male subjects participated in this one-day randomized controlled trial. One group (n=14) used one leg and both arms during the exercise and the other group (n =14) used both legs and both arms. All subjects performed a one-day low-intensity exercise protocol. This included a standardized pre- and posttest of 3 bouts of 4 minutes exercise at 40W and an exercise intervention of 7 bouts of 2 x 4 minutes exercise at 40W. The one and two-legged group significantly differed regarding heart rate and GE between the pre- and posttest. The one-legged group showed more motor learning effects than the two-legged group. GE improved significantly in both groups over the duration of the 3 exercise bouts of the pretest, but it did not improve during the posttest. The conclusion of this study is that there are expected differences in cardiorespiratory variables and GE between one and two-legged exercise on the Cruiser ergometer. It seems that motor learning occurs and the one-legged group showed more motor learning effects than the two-legged group. From a clinical perspective, the experimental results suggest that unilateral leg exercise on the Cruiser ergometer is highly feasible, is somewhat more straining, and yet less efficient, and it requires a period of adaptation to become familiar with the exercise configuration.

**Chapter 4** describes a study to the repeatability and validity of the cardiorespiratory fitness measured on the Cruiser ergometer. Thirty healthy volunteers carried out 3 incremental exercise tests, once on the bicycle ergometer and twice on the Cruiser ergometer. The repeatability of the Cruiser ergometer was assessed by studying the results of the test-retest and the validity by studying

the results of the bicycle and the mean of the 2 repeated Cruiser ergometer tests. The intraclass correlation coefficient for repeated measurements on the Cruiser ergometer was 0.84 for the maximal oxygen consumption ( $VO_2\text{max}$ ), and 0.71 for the maximal heart rate (HRmax). The intraclass correlation coefficient for the measurements on the bicycle ergometer and the Cruiser ergometer was 0.86 for the  $VO_2\text{max}$  and 0.73 for HRmax. Bland and Altman plots for  $VO_2\text{max}$  and HRmax showed a bias close to zero and a great accuracy. The conclusion of this study is that the Cruiser ergometer provides a repeatable and valid measurement of cardiorespiratory fitness in healthy volunteers. For persons with a LLA, an exercise test on the Cruiser ergometer seems to be a good alternative for an one-legged cycle exercise test. Further research was advised before the Cruiser ergometer can be used in persons with a LLA, particularly with regard to diagnostic and therapeutic protocols and reliable ECG measurement.

This research into the feasibility, safety and reliability of (sub)maximal exercise testing on the Cruiser ergometer in a population with a LLA is presented in **chapter 5**. Seventeen persons with a LLA performed one submaximal exercise test and three maximal exercise tests on the Cruiser ergometer. Fourteen men and 3 women out of 21 preselected subjects completed the study. In general, the maximal Cruiser exercise test was feasible. Almost 75% of the subjects reached a maximal aerobic performance. The test was also safe because no complications occurred, although electrocardiogram and blood pressure could only be reliably recorded in most subjects just before and after the test. The reliability of this exercise protocol was good. The conclusion of this chapter is that the Cruiser ergometer is a feasible, safe, and reliable testing instrument for measuring the cardiorespiratory fitness of this study population with a LLA. Adequate practice before actual testing, and the development of individually tailored testing protocols are advised.

**Chapter 6** describes the inter-observer and intra-observer reliability of determining the ventilatory thresholds in subjects with a LLA and able bodied (AB) subjects during a peak exercise test on the Cruiser ergometer. Two observers determined two ventilatory thresholds of the exercise tests performed in the studies described in **chapters 4 and 5**. The first (VT1) and second (VT2) ventilatory threshold were determined based on ventilation plots. The number of observations in which thresholds could not be determined differed significantly between observers and analyses. The inter- and intra-observer reliability of

determining VT1 in this study was sufficiently good (reliability coefficient > 0.75) for subjects with a LLA and AB subjects in which VT1 could be successfully assessed. However, limits of agreement were relatively wide, which makes individual assessment sensitive to error. Determination of VT2 was less reliable than the VT1 in both subject groups and for both observers. For clinical practice, VT1 determined after an exercise test on the Cruiser ergometer can be helpful in prescribing exercise intensity for a training program after a LLA.

In **chapter 7** the most remarkable findings of this thesis are summarized and discussed. The conclusion is that the Cruiser ergometer is suitable for measuring the cardiorespiratory fitness in persons with a LLA. There is evidence for motor learning when using the Cruiser ergometer for the first time in exercise testing. Before the peak exercise test, sufficient practice on the Cruiser ergometer is advised in order to get used to this movement with the arms and leg.

A person with a LLA can safely, without help and comfortable perform an exercise test on the Cruiser ergometer. Another advantage of the Cruiser ergometer that in future it can be used both as a testing and training instrument in the early phase after a LLA.

However, the Cruiser ergometer is out of production. Initiatives are taken to develop and produce an updated version of the Cruiser ergometer, stimulated by the outcome of this thesis that arm-leg ergometry should be used in favor of one-leg bicycle ergometry in persons with a LLA. Based on the outcomes of this thesis and taking the reported limitations into account, when developing a new ergometer the following points are important: 1) adequate and reliable ECG registration during the exercise test; 2) blood pressure measurement during the exercise test; 3) connection with the software to enable control of the ergometer load from the software that also controls the cardiorespiratory variables; 4) possibility of accurate and low loads from 0 W upwards obviously in smaller steps as well as discontinuous patterns in an iso-inertial mode; 5) provide the user with isometric, iso-power as well as iso-inertial modes of operation; and 6) being able to measure the effort of the arms and leg(s) separately with the use of sensor technology.

With this new updated version of the Cruiser ergometer testing and training protocols for persons with a LLA can be developed. Further research on the clinical use of the ventilatory thresholds, has to be done focused on improvement of accuracy of determination of the thresholds and on the usefulness of these thresholds for individually tailored training protocols.

## Nederlandse samenvatting

Een beenamputatie is een veel voorkomende aandoening binnen de revalidatiegeneeskunde en in ongeveer 90 procent gerelateerd aan perifere vaatlijden en diabetes mellitus (DM). Bij de meeste mensen met een beenamputatie is er sprake van een verminderde fysieke fitheid. Dit heeft een negatief effect op de revalidatie na een beenamputatie. Vaak is de fysieke inspanning tijdens de revalidatie onvoldoende om een verbetering te geven in cardiorespiratoire fitheid. Daarom wordt aanbevolen om naast looptraining met een prothese een vorm van training aan te bieden om de cardiorespiratoire fitheid en de spierkracht te verbeteren. Individuele training vraagt om individuele doelen gebaseerd op een veilige, uitvoerbare, valide en betrouwbare cardiopulmonale maximale inspanningstest. De cardiorespiratoire fitheid of aerobe inspanningscapaciteit kan bepaald worden door middel van een maximale inspanningstest waarbij onder andere de piek zuurstofopname ( $VO_2$ piek), het piek vermogen en de piek hartslag gemeten worden.

Verschillende ergometers zijn al eerder uitprobeerd om de maximale inspanningscapaciteit te bepalen bij mensen met een beenamputatie, zoals een lopende band (alleen voor mensen met loopfunctie met prothese), éénbenige fietsergometer, armergometer, roei-ergometer en gecombineerde arm-been ergometers. Om de  $VO_2$ piek valide en betrouwbaar te kunnen bepalen, is een inspanningsvorm nodig waarbij een zo groot mogelijke spiermassa gebruikt wordt tijdens inspanning. Als veel spieren actief zijn zal meer zuurstof verbruikt worden, waardoor de  $VO_2$ piek en de hartfunctie nauwkeuriger bepaald kunnen worden.

Bij mensen met een beenamputatie lijkt de Cruiser ergometer, een gecombineerde arm-been ergometer waarbij beide armen en 1 been gebruikt worden, een geschikt meetinstrument voor een maximale inspanningstest omdat dan veel spiermassa actief is. Andere voordelen van de Cruiser ergometer zijn dat mensen met een beenamputatie de test kunnen doen in een veilige laag zittende positie met ondersteuning voor de rug en ondersteuning voor de stomp, terwijl ze 1 been, beide armen en de romp gebruiken zonder verdere hulp.

De beweging op de Cruiser ergometer is voor de meeste mensen een ongewone cyclische beweging met meerdere ledematen. Dit betekent dat er bij deze beweging sprake kan zijn van een natuurlijk proces van motorisch leren, oftewel leren door oefening. Voor het uitvoeren van de studies, beschreven



in dit proefschrift, was niet duidelijk of er sprake is van motorisch leren bij het bewegen op de Cruiser ergometer en welke verschillen tussen één- en tweebeenige inspanning bestaan. Als de Cruiser ergometer wordt gebruikt voor inspanningstesten bij mensen met een beenamputatie is het belangrijk dat het mogelijk is om de inspanningstolerantie te meten, dat inspanning gerelateerde klachten opgespoord worden en dat het bepalen van de maximale aerobe capaciteit uitvoerbaar, veilig, betrouwbaar en valide is. Verder moet het mogelijk zijn om op basis van de resultaten van de inspanningstest een individueel trainingsadvies te geven wat gebruikt kan worden tijdens de revalidatie na een beenamputatie.

Het hoofddoel van dit proefschrift is het vaststellen of de Cruiser ergometer klinisch toepasbaar is als meetinstrument voor cardiopulmonale inspanningstesten bij patiënten met een beenamputatie. De volgende subdoelen zijn geformuleerd:

- Vergelijken en begrijpen van de fysiologie van submaximale cyclische inspanning bij gezonde mensen op de Cruiser ergometer, fietsergometer en handbike (op een lopende band) ten aanzien van cardiorespiratoire variabelen, mechanische efficiëntie (GE) en ervaren inspanning.
- Bestuderen van mogelijke leereffecten tijdens laag-intensieve submaximale éénbeenige en tweebeenige inspanning op de Cruiser ergometer bij gezonde mensen door het bepalen van de mechanische efficiëntie en cardiorespiratoire inspanningsintensiteit.
- Bepalen van de betrouwbaarheid en validiteit van een maximale inspanningstest op de Cruiser ergometer in een populatie van gezonde mensen.
- Bepalen van de toepasbaarheid, veiligheid en betrouwbaarheid van een (sub)maximale inspanningstest op de Cruiser ergometer in een studie populatie van mensen met een beenamputatie.
- Het bepalen van de inter-beoordelaar en intra-beoordelaar betrouwbaarheid van de eerste (VT1) en tweede (VT2) ventilatoire drempel bij mensen met een éénzijdige beenamputatie en gezonde proefpersonen tijdens een maximale inspanningstest op de Cruiser ergometer.

**Hoofdstuk 2** beschrijft de GE, cardiorespiratoire inspanningsintensiteit en ervaren inspanning van een laag-intensieve inspanning op de Cruiser ergometer.

Deze resultaten worden vergeleken met de inspanning op hetzelfde vermogen op de fietsergometer en de handbike. Tien gezonde mannen en 12 gezonde vrouwen namen deel aan 4 discontinue submaximale inspanningstesten op respectievelijk de Cruiser ergometer, fietsergometer, handbike op een lopende band en opnieuw de Cruiser ergometer. Elke test vond plaats volgens hetzelfde protocol en bestond uit 7 blokken van 3 minuten inspanning variërend tussen de 20 tot 45 W. De GE gemeten op de Cruiser ergometer verschilde niet van de fietsergometer, maar was hoger bij de test op de handbike. Een vergelijkbare cardiorespiratoire inspanningsintensiteit werd vastgesteld tussen de Cruiser ergometer test en fietsergometer test, maar een significant hogere cardiorespiratoire inspanningsintensiteit werd gevonden voor de handbike test. De herhaalde test op de Cruiser ergometer toonde geen verschillen vergeleken met de 1<sup>e</sup> test. Onder de beschreven test omstandigheden bleken mannen minder efficiënt dan vrouwen. De conclusie is dat GE en cardiorespiratoire inspanningsintensiteit tijdens inspanning op de Cruiser ergometer vergelijkbaar zijn aan de inspanning op de fietsergometer onder de beschreven submaximale test omstandigheden. Deze studie toont aan dat de Cruiser ergometer geschikt kan zijn om te gebruiken als test- en trainingsinstrument voor mensen met een beenamputatie.

**Hoofdstuk 3** beschrijft een onderzoek naar laag-intensieve inspanning op de Cruiser ergometer bij gezonde individuen. Het doel van dit onderzoek was te bestuderen of er verschillen optraden in cardiorespiratoire variabelen en GE tussen éénbenige en tweebenige inspanning op de Cruiser ergometer en of er sprake was van een motorisch leereffect. Achtentwintig gezonde mannen namen deel aan deze ééndaagse gerandomiseerde gecontroleerde studie. Eén groep (n=14) gebruikte één been en beide armen tijdens de beweging en de andere groep (n=14) gebruikte beide armen en beide benen. Alle proefpersonen volgden een laagintensief oefenprotocol. Dit hield in een gestandaardiseerde test voor en na de interventie waarbij 3 blokken van 4 minuten inspanning op 40 W, de interventie bestaand uit 7 blokken van 2 x 4 minuten inspanning op 40 W. De éénbenige en tweebenige groep verschilde significant wat betreft hartslag en GE tussen de voor- en nameting. Bij de éénbenige groep was er een groter motorisch leereffect dan bij de tweebenige groep. GE verbeterde significant in beide groepen tijdens de 3 inspanningssessies van de voormeting, maar verbeterde niet tijdens de nameting. De conclusie van deze studie is dat er

verschillen waren in cardiorespiratoire variabelen en GE tussen de éénbenige en tweeënige inspanning op de Cruiser ergometer. Er trad een motorisch leerproces op en dit effect was groter bij de éénbenige groep dan bij de tweeënige groep. Vanuit een klinisch perspectief laat dit onderzoek zien dat een éénbenige beweging op de Cruiser ergometer goed mogelijk is, echter meer inspannend en minder efficiënt is dan de tweeënige beweging en dat een langere periode nodig is om te wennen aan deze vorm van inspanning.

**Hoofdstuk 4** beschrijft een studie naar de reproduceerbaarheid en de validiteit van de maximale inspanningscapaciteit gemeten op de Cruiser ergometer. Dertig gezonde proefpersonen ondergingen 3 maximale inspanningstesten, één keer op de fietsergometer en twee keer op de Cruiser ergometer. De reproduceerbaarheid werd vastgesteld door de resultaten van de test-herstest te vergelijken en de validiteit door resultaten van de fietsergometer test en het gemiddelde van de 2 herhaalde Cruiser ergometer testen met elkaar te vergelijken. De intraclass correlatie coëfficiënt (ICC) voor de herhaalde metingen op de Cruiser ergometer was 0.84 voor de maximale zuurstof opname ( $VO_2$  max) en 0.71 voor de maximale hartslag (HRmax). De intraclass correlatie coëfficiënt voor de metingen op de fietsergometer en de Cruiser ergometer was 0.86 voor de  $VO_2$ max en 0.73 voor de HRmax. Bland en Altman grafieken voor  $VO_2$ max en HRmax lieten een bias van bijna nul zien en een grote nauwkeurigheid. De conclusie van deze studie is dat de Cruiser ergometer een reproduceerbaar en valide meetinstrument is om de maximale inspanningscapaciteit te bepalen bij gezonde proefpersonen. Voor mensen met een beenamputatie lijkt een inspanningstest met de Cruiser ergometer een goed alternatief te zijn voor de éénbenige fietstest. Vanuit deze studie werd verder onderzoek geadviseerd voordat de Cruiser ergometer gebruikt kan worden bij mensen met een beenamputatie, met name ten aanzien van diagnostische en therapeutische protocollen en betrouwbare ECG registratie.

Dit onderzoek naar de toepasbaarheid, veiligheid en betrouwbaarheid van (sub)maximale inspanningstesten op de Cruiser ergometer in een populatie met een beenamputatie wordt beschreven in **hoofdstuk 5**. Zeventien mensen met een beenamputatie hebben 1 submaximale inspanningstest en 3 maximale inspanningstesten uitgevoerd op de Cruiser ergometer. Veertien mannen en 3 vrouwen van de 21 voorgeselecteerde proefpersonen hebben deze studie

voltooid. In het algemeen was de inspanningstest op de Cruiser ergometer goed uitvoerbaar. Ongeveer 75% van de proefpersonen heeft een maximale aerobe inspanning verricht. De test was veilig omdat er geen complicaties optraden, hoewel ECG en bloeddruk bij de meeste proefpersonen alleen betrouwbaar gemeten konden worden voor en direct na de test. De betrouwbaarheid van het inspanningsprotocol was goed. De conclusie vanuit deze studie is dat de Cruiser ergometer een toepasbaar, veilig en betrouwbaar meetinstrument is om de inspanningscapaciteit te meten bij deze onderzoekspopulatie met een beenamputatie. Wanneer aan het apparaat voor de uitvoer van de test en de ontwikkeling van individueel te bepalen test protocollen wordt geadviseerd.

**Hoofdstuk 6** beschrijft de inter-beoordelaar en intra-beoordelaar betrouwbaarheid van het bepalen van de ventilatoire drempels bij mensen met een beenamputatie en bij gezonde proefpersonen tijdens een maximale inspanningstest op de Cruiser ergometer. Twee beoordelaars bepaalden twee ventilatoire drempels van de inspanningstesten beschreven in **hoofdstuk 4 en 5**. De eerste (VT1) en tweede (VT2) ventilatoire drempel werden bepaald op basis van de ventilatie plots. Het aantal observaties waarbij de drempels niet bepaald kon worden verschilde significant tussen de beoordelaars en tussen de analyses. De inter-beoordelaar en intra-beoordelaar betrouwbaarheid van het bepalen van VT1 in dit onderzoek was redelijk goed (betrouwbaarheid coëfficiënt > 0.75) voor de proefpersonen met een beenamputatie en de gezonde proefpersonen waarbij de VT1 goed bepaald kon worden. Echter de grenzen van overeenstemming (limits of agreement) waren relatief groot, wat een individuele bepaling gevoelig maakt voor fouten. Het bepalen van VT2 was minder betrouwbaar dan van VT1 in beide onderzoekspopulaties en voor beide beoordelaars. Voor de klinische praktijk, kan het bepalen van VT1 na een inspanningstest op de Cruiser ergometer ondersteunen in het voorschrijven van de juiste intensiteit van de revalidatie na een beenamputatie.

In **hoofdstuk 7** worden de meest belangrijke bevindingen van dit proefschrift samengevat en bediscussieerd. De conclusie is dat de Cruiser ergometer bruikbaar is om de cardiorespiratoire fitheid te meten bij mensen met een beenamputatie. Er is bewijs voor motorisch leren als de Cruiser ergometer voor het eerst wordt gebruikt voor het meten van de inspanningscapaciteit. Voor de uitvoer van een maximale inspanningstest wordt het oefenen op de Cruiser

ergometer geadviseerd om te wennen aan deze beweging met de armen en het been.

Op de Cruiser ergometer kan een persoon met een beenamputatie veilig, zelfstandig en comfortabel zittend een inspanningstest uitvoeren. Een bijkomend voordeel is dat de Cruiser ergometer zowel als test- en trainingsinstrument in de vroege fase na een beenamputatie gebruikt kan worden.

Echter de Cruiser ergometer wordt niet meer geproduceerd. Initiatieven worden ondernomen om een vernieuwde versie van de Cruiser ergometer te ontwikkelen, gestimuleerd vanuit de conclusie van dit proefschrift waarbij de arm-been ergometer meer geschikt lijkt dan de éénbenige fietsergometer bij mensen met een beenamputatie. Op basis van de uitkomsten van dit proefschrift en rekening houdend met de beschreven beperkingen zijn de volgende punten belangrijk bij het ontwikkelen van een nieuwe ergometer: 1) adequate en betrouwbare ECG registratie tijdens de inspanningstest; 2) bloeddrukmeting tijdens de inspanningstest; 3) verbinding met de software om het mogelijk te maken dat de weerstand van de ergometer verbonden wordt met de software die ook de cardiorespiratoire variabelen meet; 4) de mogelijkheid van accurate en lage weerstand niveaus vanaf 0 W en oplopend met kleine stapjes en ook met de mogelijkheid tot een discontinu patroon in een iso-inertiële stand; 5) mogelijk maken voor de gebruiker om te kiezen uit een isometrische, iso-power en iso-inertiële stand; en 6) het mogelijk maken van het meten van de inspanning van de armen en het been of benen afzonderlijk door gebruik te maken van sensortechnologie.

Met deze vernieuwde versie van de Cruiser ergometer kunnen test- en trainingsprotocollen voor mensen met een beenamputatie ontwikkeld worden. Meer onderzoek naar de klinische toepasbaarheid van het bepalen van de ventilatoire drempels moet worden gedaan, gericht op het verbeteren van de nauwkeurigheid van het bepalen van de drempels en de bruikbaarheid van deze drempels voor individueel te bepalen trainingsprotocollen.

## Dankwoord

Eindelijk is het zover, mijn proefschrift is klaar! Zonder steun van iedereen die betrokken was bij de verschillende studies zou dit proefschrift niet tot een afronding zijn gekomen. Wat is het fijn om mensen om je heen te hebben die je inspireren, uitdagen, aanmoedigen en zorgen voor de benodigde afleiding. En al deze mensen wil ik bedanken, waarbij een aantal mensen in het bijzonder.

Als eerste wil ik de proefpersonen bedanken die hebben meegewerkt aan de verschillende studies, de gezonde vrijwilligers en de (ex)patiënten met een beenamputatie.

Mijn promotie commissie bestaande uit Prof. dr. R. Dekker, Prof dr. J.H.B. Geertzen, Prof. dr. L.H.V. Van der Woude en dr. J.B. Wempe wil ik bedanken. Dit proefschrift komt voort uit een mooie samenwerking tussen de afdelingen Revalidatiegeneeskunde, Bewegingswetenschappen en Longgeneeskunde van het UMCG.

Beste prof. dr. Dekker, beste Rienk, jij bent mijn grote inspirator geweest tijdens dit promotietraject. Ik bewonder jouw enthousiasme voor de wetenschap en door jouw positieve instelling hield ik voor ogen dat dit proefschrift een keer tot afronding zou komen. Jij hebt de actieve leefstijl (bewegen en sport) de afgelopen jaren een prominente rol gegeven binnen de Revalidatiegeneeskunde. En dit niet alleen op het gebied van onderzoek, maar ook in het onderwijs en de patiëntenzorg. De titel Prof. staat welverdiend al voor je naam en hopelijk kan jij aan het einde van het jaar de uitgestelde oratie houden. Tijdens jouw afwezigheid de afgelopen periode miste ik onze vaste overlegmomenten waarbij ik met al mijn vragen bij jou terecht kon. Ik hoop dat we in de toekomst kunnen blijven samenwerken.

Beste prof. dr. Geertzen, beste Jan, dankzij jou kreeg ik de kans om promotieonderzoek te doen. Jij stimuleerde mij om na het afronden van mijn opleiding tot revalidatiearts verder te gaan met het doen van onderzoek en gaf mij de tijd en ruimte om dit proefschrift te kunnen afronden. Ik waardeer jouw daadkracht en snelheid in het nemen van beslissingen, iets waar ik wat meer moeite mee heb. Maar ook jouw nauwkeurigheid vind ik bewonderingswaardig.

Bij voorkeur liet ik jou een stuk als laatste lezen, omdat ik dan zeker wist dat alle punten en komma's goed stonden.

Beste prof. dr. van der Woude, beste Luc, jij bent een enorme kennisbron en ik heb veel van jou geleerd over biomechanica en statistiek. Jij bracht mij in contact met de juiste studenten bewegingswetenschappen die mij konden ondersteunen bij de studies uitgevoerd op jullie faculteit. Ik waardeer het zeer dat jij ook na jouw pensioen betrokken wilde blijven bij mijn promotietraject. De moed zakte mij wel eens in de schoenen als ik een artikel helemaal rood van je terugkreeg, maar na het verwerken van jouw commentaar was mijn artikel zodanig verbeterd dat ik erg blij was met deze feedback.

Beste dr. Wempe, beste Johan, jij hebt mijn kennis in de inspanningsfysiologie vergroot. Als hoofd van het Centraal Inspanning Lab (CIL) van het Centrum voor Revalidatie bracht jij mij in contact met de juiste mensen die mij konden ondersteunen bij de 3 studies die zijn uitgevoerd in Beatrixoord. Jij was altijd laagdrempelig bereikbaar en nam de tijd om mij dingen uit te leggen. Ik waardeer jouw kijk op de praktische haalbaarheid van studies en klinische relevantie.

De beoordelingscommissie bestaande uit Prof. dr. J.H.P. Houdijk, Prof. dr. C.A.M. van Bennekom en Prof. dr. M.F. Reneman wil ik bedanken voor hun bereidheid en tijdsinvestering om dit proefschrift te lezen en beoordelen.

Prof. dr. F.J. Hettinga, beste Floor, bedankt voor jouw hulp bij het 1<sup>e</sup> artikel uit mijn proefschrift. Destijds kon ik nog op de fiets bij je langs voor adviezen, inmiddels ben je verhuisd naar Engeland waar je hoogleraar bent geworden. Prof. dr. P.U. Dijkstra, beste Pieter, bedankt voor de vele uren waarin jij mij hebt geholpen bij de statistiek van mijn laatste artikel. Drs M,C. de Bruijn, beste Stijn, bedankt voor jouw waardevolle inbreng vanuit de sportgeneeskunde bij het laatste artikel.

Destijds studenten en inmiddels afgestuurde bewegingswetenschappers, Ilse Borgesius, Thijs Wervelman en Hendrik Sierd de Vries, bedankt voor jullie bijdrage aan de projecten die plaats vonden bij bewegingswetenschappen en waarvoor jullie veel medestudenten wisten te motiveren om deel te nemen aan de verschillende inspanningstesten.

Alle mensen van het CIL in het UMCG locatie Beatrixoord wil ik bedanken voor hun hulp bij het testen van zowel de gezonde proefpersonen als de mensen met een beenamputatie. In 2005 ben ik gestart met mijn 1<sup>e</sup> project en sinds die tijd is het inspanningslab enorm gegroeid, qua kennis, apparatuur en professionaliteit. In het bijzonder wil ik Monica Leever bedanken, als mijn aanspreekpunt voor het CIL. Jij dacht met mij mee over de uitvoerbaarheid van de projecten en hielp mij zelfs met het werven van proefpersonen.

In de tijd dat ik voor 0,3 fte onderzoek deed, vond ik een kamer op locatie Groningen waar ik ongestoord aan mijn onderzoek kon werken. Ik deelde de kamer destijds met Leonie Krops en dit bracht mij niet alleen gezelligheid, maar ook een hoop kennis op het gebied van het doen van onderzoek. Leonie bedankt voor je hulp, ook na het afronden van jouw proefschrift.

Alle collega's van de revalidatie wil ik bedanken voor hun interesse en hulp. In het bijzonder wil ik mijn collega revalidatieartsen Henk, Marleen, Veronique, maar ook Sanne als PA bedanken voor het overnemen van mijn taken wanneer ik tijd nodig had om aan mijn onderzoek te werken. Verder was het prettig om 2 onderzoeksmaatjes te hebben als collega's om ervaringen uit te wisselen. Ellen en Jessika, na mij is het jullie beurt om je proefschrift te verdedigen!

Door de corona maatregelen stonden mijn sociale activiteiten op een lager pitje het afgelopen jaar. Mede hierdoor had ik de tijd om mijn proefschrift af te ronden. Lieve familie en vrienden, jullie contacten heb ik echter wel gemist. Hopelijk is er het komende jaar weer meer mogelijk en de tijd maak ik er graag voor vrij!

Adrienne en Suzanne, wat fijn dat jullie mijn paranimfen willen zijn. Wij kennen elkaar vanaf het 1<sup>e</sup> college van de geneeskunde studie. Het is mooi dat onze vriendschap sinds die dag is gebleven, hoewel we alle drie een eigen richting op zijn gegaan. In 2009 stonden we tijdens de promotie van Adrienne hier in een andere volgorde. Sindsdien is er veel gebeurd, en zijn we nog niet veel verder gekomen met ons doel om wandelend de Pieterberg te behalen. Maar onze app groep heet nog steeds Pieterpad, dus ik weet zeker dat we dit samen zullen bereiken.



Joyce, bedank voor alle tips die ik van jou kreeg. Jij hebt 1,5 jaar terug jouw proefschrift verdedigd, en ik heb veel gehad aan al jouw praktische adviezen. Ans, onze hardlooprondjes waren vaak niet alleen goed voor mijn fysieke, maar ook mijn mentale gezondheid. Bedankt voor alle adviezen die ik al hardlopend van jou kreeg om mijn proefschrift af te kunnen ronden.

Mijn familie en schoonfamilie wil ik bedanken voor hun interesse en steun. De afgelopen jaren is onze familie gegroeid door alle aanhang en kinderen en dit heeft een hoop gezelligheid met zich meegebracht. Mijn zussen Hanneke, Mirjam en Esther wil ik in het bijzonder bedanken. Wat is het fijn om zussen te hebben met wie ik al heel mijn leven alles kan delen. Lieve Han, Mir en Es, de volgende zussendag organiseer ik!

Lieve pap en mam, bedankt voor jullie onvoorwaardelijke steun bij alles wat ik doe. Jullie stimuleerden mij om mezelf te ontwikkelen en gaven mij een liefdevolle basis van waaruit ik dit kon doen.

Lieve Valerie en Daphne, met jullie komst kwam onze grootste wens uit. Even dacht ik dat onderzoek doen en kinderen niet te combineren was, maar jullie gaven mij juist de positieve energie om door te gaan.

Lieve Bas, voor jou de laatste en welverdiende woorden. Jij gaf mij de ruimte om dit proefschrift af te ronden, maar haalde mij soms ook achter mijn laptop vandaan als afleiding nodig was. Wat geniet ik van de tijd samen en sinds de geboorte van onze prachtige dochters zijn we compleet. Op naar nog heel veel mooie momenten samen!

## Curriculum Vitae

Liesbeth Simmelink werd geboren op 12 september 1979 te Ermelo en verhuisde op haar 9e naar Dronten. In 1997 behaalde zij haar VWO diploma aan het Ichthus College te Kampen. Van 1997 tot 2003 studeerde zij Geneeskunde aan de Rijksuniversiteit in Groningen. Tijdens haar studie deed ze een keuze coschap Revalidatiegeneeskunde waar haar interesse voor dit vakgebied werd gewekt. Van 2003 tot 2004 was zij werkzaam als AGNIO neurologie in het Martiniziekenhuis in Groningen. In 2004 kon zij starten met de opleiding tot revalidatiearts in het UMCG. Tijdens haar opleiding tot revalidatiearts is zij begonnen met dit huidige promotie onderzoek. In 2008 heeft zij haar opleiding tot revalidatiearts afgerond. Zij kon blijven werken in het UMCG waarbij zij als revalidatiearts in eerste instantie werkzaam was op locatie Beatrixoord en in het OZG locatie Delfzicht. Sinds 2014 is zij volledig werkzaam binnen de neurorevalidatie in het UMCG met als aandachtsgebieden Niet aangeboren hersenletsel (NAH), Multipiele Sclerose (MS) en Bewegen & Sport. Zij is lid van de werkgroep MS en de werkgroep Bewegen & Sport van de Vereniging voor Revalidatieartsen (VRA).



Zij is getrouwd met Bas Moekotte en heeft 2 dochters Valerie en Daphne.

## Research Institute SHARE

This thesis is published within the **Research Institute SHARE** (Science in Healthy Ageing and healthcaRE) of the University Medical Center Groningen / University of Groningen.

Further information regarding the institute and its research can be obtained from our internet site: <http://www.share.umcg.nl/>

More recent theses can be found in the list below.  
(supervisors are between brackets)

### 2021

#### **Bochane MI**

Uniform screening for atypical language development in Dutch child health care  
(*prof CP van der Schans, prof SA Reijneveld, dr MR Luinge*)

#### **Stegmann ME**

Communication in oncology; positioning the general practitioner in shared decision making for patients with cancer  
(*prof MY Berger, dr AJ Berendsen*)

#### **Zhang Y**

Toxic effects of heavy metals on the immune system; evidence from population and in vitro studies  
(*dr MM Faas, dr X Xu, dr X Hou, dr P de Vos*)

#### **Rienstra W**

Beyond the joint; measurement and treatment of sensitisation in patients undergoing total knee or hip arthroplasty  
(*prof SK Bulstra, dr I van den Akker-Scheek, dr M Stevens*)

#### **Kuilman L**

Antecedents of Ethical Decision Making by physician assistants and nurse practitioners: validation of instruments and their application  
(*prof P Roodbol, dr GJ Jansen, dr LB Mulder*)

**Waanders JB**

Functional relevance of eccentric strength maintenance with age during walking  
(*prof T Hortobagyi, dr A Murgia, dr JR Franz*)

**Kok D**

Memory metal in lumbar spinal fusion; biological, mechanical, clinical and radiological studies  
(*prof SK Bulstra, dr M Stevens, dr FH Wapstra*)

**Kristoffersen MB**

Serious gaming for learning the intuitive, non-natural control of prosthetic hands  
(*prof CK van der Sluis, dr RM Bongers, dr A Murgia*)

**Noh JW**

Key factors to improve maternal and child health in Sindh province, Pakistan  
(*prof J Stekelenburg, dr YM Kim, dr YD Kwon*)

**Fitria N**

Pregnancy complications: health economics of screening and prevention  
(*prof MJ Postma, dr ADI van Asselt*)

**Zijlstra E**

The impact of the hospital environment; understanding the experience of the patient journey  
(*prof CP van der Schans, prof M Hagedoorn, dr MP Mobach*)

**Feenstra M**

Trajectories of health status in older people  
(*prof SEJA de Rooij, prof BC van Munster, dr N Smidt*)

**Roossien C**

Sensors@work; towards monitoring physical workload for sustainable employability  
(*prof MF Reneman, prof GJ Verkerke*)

**Klerk R de**

Development of a wheelchair propulsion laboratory  
(*prof LHV van der Woude, dr HEJ Veeger, dr RJK Vegter*)

**Zhou Y**

Machine learning for identifying patterns in human gait; classification of age and clinical groups  
(*prof CJC Lamothe, prof T Hortobayi*)

**Brink MJ van den**

Management of heavy menstrual bleeding  
(*prof MY Berger, prof MY Bongers, dr JH Dekker*)

**Brouwer MA**

At the boundaries of life; suffering and decision-making in children with life-threatening conditions (1-12 years)  
(*prof AAE Verhagen, dr E Maeckelberghe*)

**Beune IM**

Standardization in fetal growth restriction; progression by consensus  
(*prof JJ Erwich, dr SJ Gordijn, dr JW Ganzevoort*)

**Keizer MNJ**

Neuromuscular control of knee laxity after an anterior cruciate ligament reconstruction  
(*prof E Otten, dr JM Hijmans, dr RW Brouwer*)

For earlier theses visit our website