

University of Groningen

Inter-limb mechanisms and clinical relevance of cross-education in humans

Zult, Tjerk

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:

2017

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

Citation for published version (APA):

Zult, T. (2017). *Inter-limb mechanisms and clinical relevance of cross-education in humans*. Rijksuniversiteit Groningen.

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.

Appendices

Summary

Nederlandse samenvatting

Dankwoord

About the author

Research Institute SHARE

Summary

It has been known for over 100 years that unilateral resistance training can increase the force production of the homologous contralateral muscles by about 52% of the force gained on the trained side - a phenomenon called cross-education (**chapter 1**). Cross-education was initially attributed to increased will-power but neurophysiological explanations emerged after the observation that forceful unilateral muscle contractions resulted in increased muscle activity on the contralateral side. Examination of the underlying mechanisms became possible in the 1980s after the introduction of surface electromyography, imaging techniques and transcranial magnetic stimulation (TMS). The current literature shows that cortical and corticospinal circuits are involved in the cross-education of voluntary muscle force but the exact mechanisms are still unknown. Another debate in the literature is whether cross-education can be clinically relevant in the rehabilitation from unilateral injury or neurological dysfunction. Especially, because the cross-education effect is only about 8% of initial muscle force. The first aim of this thesis was to further unravel the cortical and corticospinal circuits involved in cross-education, and to examine whether augmented visual feedback can increase the amount of cross-education by modifying these circuits. The second aim was to exploit the clinical benefits of cross-education in patients who need to recover from anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction.

The literature review presented in **chapter 2** proposed the idea that augmented visual feedback using a mirror can increase the magnitude of cross-education compared to standard unilateral training without a mirror. In mirror training, the exercising hand's image is superimposed over the resting hand, which creates the illusion in the mirror that the resting hand is moving. The literature review of 32 studies showed an overlap in brain activation between unilateral motor practice with and without a mirror, with the exception that mirror training uniquely activated the mirror-neurons system. This system connects sensory neurons responding to visual cues of a movement and motoneurons executing this movement. The mirror-neuron system is involved in sensorimotor learning that uses action observation and therefore we hypothesized that viewing a motor act in a mirror would augment the amount of transfer to the untrained side. This assumption is supported by studies in which a low-force motor skill task is practiced. In **chapter 3 and 4** we examined whether mirror training also augments cross-education when motor practice consists of forceful unilateral muscle contractions. Such a treatment could reduce muscle weakness following wrist fracture, ACL reconstruction, stroke,

and other unilateral dysfunctions when training the affected side is not possible.

The mirror-neuron system connects neurons in the occipital, temporal, and parietal visual areas and two motor areas. These motor areas are involved in the planning of the movement and provide input to the primary motor cortex (M1), the area responsible for the execution of voluntary movements. Therefore, **chapters 3 and 4** focused on the role of the M1 in the cross-education of muscle force with and without a mirror. Changes in intracortical and corticospinal excitability of the M1 were measured with TMS, a non-invasive method that uses a changing magnetic field to stimulate a small brain area. This stimulation results in a brief muscle contraction that reflects the excitability of the brain. Several studies have shown that mirror-viewing of monotonic and low-force requiring hand movements increase the corticospinal excitability to the resting hand upon which the mirror image was superimposed. In contrast, forceful unilateral muscle contractions with a mirror did not upregulate the corticospinal excitability compared to contractions without a mirror but we found that mirror-viewing of the contracting hand uniquely reduced motor cortical inhibition (**chapter 3**). This acute reduction in intracortical inhibition supports the idea that unilateral resistance training with the mirror is more effective than training without a mirror for inducing cross-education.

Indeed, the training study presented in **chapter 4** shows that 15 training sessions of forceful unilateral wrist flexion contractions produce 27% more cross-education when performed with vs. without a mirror. This mirror-augmented cross-education effect was accompanied by a chronic reduction in intracortical inhibition but this was a different inhibitory path than proposed in **chapter 3**. Regardless of the underlying mechanisms, mirror training using forceful unilateral muscle contractions has the potential to accelerate the recovery of unilateral orthopaedic and neurological impairments.

Restoring limb symmetry is an important aim in the rehabilitation from unilateral impairment but an ACL injury presumably also affects the non-injured leg's function. **Chapter 5** quantified the magnitude and nature of any neuromuscular deficit in the non-injured leg following an ACL injury. The non-injured leg revealed impairments in dynamic balance and voluntary quadriceps activation but the other neuromuscular functions, i.e., maximal quadriceps and hamstring torque, quadriceps force control, knee joint proprioception, static balance, and single-leg hop distance, were unaffected. Therapists and researchers can safely use the non-injured leg

to monitor the recovery of the injured leg's neuromuscular functions.

Several clinical studies investigated whether extra resistance training with the non-injured limb accelerated the injured limb's recovery. This approach was beneficial over a standard rehabilitation protocol in stroke and wrist fracture patients. **Chapter 6** examined the clinical benefits of cross-education training following ACL reconstruction. Patients in the cross-education group strengthened the knee extensors on the non-injured side to attenuate the muscle weakness on the injured side following surgery. We followed the patients up to 26 weeks after surgery and found that cross-education training as an adjuvant to standard care did not accelerate the rehabilitation from ACL surgery.

Chapter 7 is a general discussion of the reported findings, including clinical implications and directions for future research. This dissertation helped to disentangle the underlying neural mechanisms and clinical relevance of cross-education. However, there is still a substantial gap in knowledge about how the extra brain activation following unilateral resistance training can be effectively exploited to allow healthy subjects and patients to generate more force with the homologous untrained side.

Nederlandse samenvatting

Al meer dan 100 jaar is bekend dat het doen van krachttraining met een arm of been zowel het getrainde als niet-getrainde ledemaat sterker maakt. De krachttoename van het niet-getrainde ledemaat bedraagt gemiddeld 52% van het getrainde ledemaat - een fenomeen dat cross-education wordt genoemd (**hoofdstuk 1**). In den beginne werd cross-education toegeschreven aan toegenomen wilskracht, maar neurofysiologische verklaringen kregen de overhand nadat spieractiviteit in de 'rustende' linker arm werd waargenomen tijdens het krachtig samentrekken van spieren in de rechter arm. Het testen van de onderliggende mechanismen werd mogelijk vanaf 1980 met de opkomst van oppervlakte elektromyografie, imaging technieken, en transcranial magnetic stimulation (TMS). De huidige literatuur laat zien dat corticale en corticospinale banen betrokken zijn bij cross-education, maar het precieze werkingsmechanisme is nog onduidelijk. Daarnaast is er een debat gaande in de literatuur over de klinische relevantie van cross-education in de revalidatie van eenzijdige orthopedische en neurologische aandoeningen. In het bijzonder omdat de krachttoename van het niet-getrainde ledemaat gemiddeld maar 8% bedraagt. Het eerste doel van dit proefschrift was om te onderzoeken welke neurale banen een rol spelen in het veroorzaken van cross-education en om te kijken of augmented visuele feedback de hoeveelheid cross-education kan verhogen door extra modificaties van deze neurale banen. Het tweede doel was om de klinische relevantie van cross-education te onderzoeken in patiënten die moeten revalideren na een voorstekruisband (VKB) reconstructie.

Uit de literatuur studie in **hoofdstuk 2** kwam het idee naar voren dat de hoeveelheid cross-education kan toenemen wanneer gebruik wordt gemaakt van augmented visuele feedback middels een spiegel. Tijdens spiegel training wordt het spiegelbeeld van de arm waarmee wordt getraind geplaatst over de arm in rust, waardoor de illusie wordt gecreëerd dat de arm in rust de training uitvoert. De literatuurstudie van in totaal 32 studies laat zien dat er een overlap in hersenactiviteit is tussen eenzijdig trainen met en zonder een spiegel, maar alleen spiegel training activeerde het spiegelneuronen systeem. Dit systeem verbindt sensorische neuronen die betrokken zijn bij de verwerking van visuele informatie aangaande de beweging met de motoneuronen die betrokken zijn bij de uitvoering van de beweging. Het spiegelneuronen systeem is betrokken bij sensomotorisch leren waarbij gebruik wordt gemaakt van visuele feedback. Daarom verwachtten we dat het observeren van bewegingen in een spiegel de transfer naar de niet-getrainde zijde kan vergroten. Deze aanname wordt ondersteunt door studies waarbij

een motorische vaardigheidstaak werd geleerd die weinig spierkracht vereiste. In **Hoofdstuk 3 en 4** hebben we getest of spiegel training ook leidt tot een toename in cross-education wanneer de motorische taak eenvoudig is maar veel spierkracht vereist. Deze vorm van therapie zou spierzwakte als gevolg van een polsfractuur, VKB reconstructie, beroerte, of een ander eenzijdig disfunctioneren kunnen verminderen wanneer training van het aangedane ledemaat niet mogelijk is.

Het spiegelneuronen systeem verbindt neuronen in de occipitale, temporale, en pariëtale visuele gebieden en twee motorisch gebieden. Deze motorische gebieden zijn betrokken bij de planning van bewegingen en voorzien de primaire motorische cortex (M1) van input, het hersengebied dat verantwoordelijk is voor de uitvoer van vrijwillige bewegingen. **Hoofdstuk 3 en 4** richtten zich daarom op de rol van de M1 in de cross-education van spierkracht met en zonder een spiegel. Veranderingen in intracorticale en corticospinale prikkelbaarheid werden gemeten met TMS, een non-invasieve methode waarbij een specifiek hersengebied kan worden gestimuleerd. Deze stimulatie resulteert in een korte spiercontractie die de prikkelbaarheid van het brein reflecteert. Verschillende studies hebben bewezen dat het zien van eenvoudige en weinig spierkracht vereisende bewegingen in een spiegel leidt tot een toename van de corticospinale prikkelbaarheid die werd gemeten in de rustende hand waarop het spiegelbeeld werd geprojecteerd. In tegenstelling, het observeren van veel spierkracht vereisende bewegingen in een spiegel verhoogde de corticospinale prikkelbaarheid niet in vergelijking met eenzijdige spiercontracties zonder een spiegel (**hoofdstuk 3**). Wel vonden we dat het observeren van bewegingen in de spiegel tot een unieke reductie in motorcorticale inhibitie leidde. Deze acute reductie in inhibitie steunt het idee dat eenzijdige krachttraining met de spiegel tot een groter cross-education effect leidt dan training zonder een spiegel.

Inderdaad, de trainingsstudie gepresenteerd in **hoofdstuk 4** laat zien dat 15 eenzijdige krachttrainingssessies met de spiegel 27% meer cross-education veroorzaakten dan wanneer er getraind werd zonder een spiegel. Dit verhoogde cross-education effect ging gepaard met een chronische afname in intracorticale inhibitie, maar dit was een ander corticaal circuit dan voorspelt in **hoofdstuk 3**. Ongeacht de onderliggende mechanismen, spiegel training met krachtige spiercontracties heeft de potentie om het herstel van eenzijdige orthopedische en neurologische aandoeningen te versnellen.

Het herstellen van de symmetrie tussen ledematen is een belangrijk doel

in de revalidatie van eenzijdige aandoeningen, maar een VKB blessure tast ook het functioneren van het niet-geblesseerde been aan. **Hoofdstuk 5** kwantificeert de omvang en de aard van de neuromusculaire gebreken in het niet-geblesseerde been na een VKB blessure. Het niet-geblesseerde been toonde verslechterde dynamische balans en verminderde quadriceps activatie. Andere neuromusculaire functies zoals maximale quadriceps en hamstring kracht, quadriceps kracht controle, proprioceptie van het kniegewricht, statische balans, en eenbenige sprongkracht waren niet vermindert. Fysiotherapeuten en onderzoekers kunnen het niet-geblesseerde been zonder problemen gebruiken om te monitoren hoe het neuromusculaire herstel van het geblesseerde been verloopt.

Verskillende klinische studies hebben onderzocht of extra krachttraining met de niet-aangedane zijde het herstel van de aangedane zijde kan versnellen. Deze aanpak liet verbeteringen in maximaalkracht zien ten opzichte van het standaard revalidatieprogramma in patiënten na een beroerte en polsfractuur. **Hoofdstuk 6** bestudeert de klinische voordelen van cross-education na een VKB reconstructie. Patiënten in de cross-education groep deden extra krachttraining met de kniestrekkers van het niet-aangedane been om zo de spierzwakte van het geopereerde been te verminderen. We monitorde de patiënten tot 26 weken na de VKB operatie en vonden dat het toevoegen van cross-education training aan de standaard revalidatie niet hielp om het herstel na een VKB operatie te versnellen.

Hoofdstuk 7 is een algemene discussie van de gerapporteerde bevindingen, tezamen met klinische implicaties en richtingen voor vervolgonderzoek. Dit proefschrift heeft bijgedragen aan het ontrafelen van de onderliggende mechanismen en klinische relevantie van cross-education. Echter, er is nog steeds onduidelijkheid over hoe de extra hersenactiviteit als gevolg van eenzijdige krachttraining ertoe leidt dat zowel gezonde mensen als patiënten meer kracht kunnen genereren met de niet-getrainde zijde.

Dankwoord

Van nature ben ik een sprinter, maar voor het schrijven van dit proefschrift was toch echt een lange adem nodig. Mijn race begon in 2012 met het doen van een literatuurstudie in mijn eerste Masterjaar van Bewegingswetenschappen, met een toen nog onbekende eindbestemming. Gaandeweg de Master kwam ik erachter dat onderzoek doen echt leuk is en met ‘enige’ inspanning is het toen gelukt om een Master-PhD plek veilig te stellen. Nu zijn we inmiddels 3.5 jaar verder en is de finishlijn dan eindelijk in zicht. Stiekem ben ik best wel trots op het eindresultaat. Wie had ooit gedacht dat dit Almelose jochie, dat met de hakken over de sloot zijn VWO diploma haalde, het zo ver zou schoppen – ik niet in ieder geval. De lange weg naar de finish toe, met af en toe wat bloed, zweet, en een traan, is een stuk soepeler verlopen dankzij de steun van velen. Een aantal van hen wil ik in het bijzonder bedanken.

Prof. dr. Hortobágyi, Dear Tibor, I am grateful that you gave me the opportunity to do a PhD at the Center for Human Movement Sciences. It has been a long journey together from the start of the Master’s program in 2011 until today. I still remember my first presentation in English during the healthy ageing course. You were there to give feedback on my performance and it went horrible, mainly because of my poor English. However, at the end of the presentation you gave me a high-five and said: “well done boy!”. This illustrates how supportive you are and I have experienced that many times ever since. I really appreciated your thorough way of providing feedback in combination with the quickness of your responses. It made me a much better scientist and facilitated the progress of the different projects. Your involvement in my research projects was extraordinary and I could not have wished a better supervisor. Thanks a lot for your great guidance!

Prof. dr. Howatson, Dear Glyn, the first time we met was on a snowy day in January 2013 when you picked me up from the ferry arriving from IJmuiden. You were perfectly capable of translating the ‘Geordie accent’ into proper English, which was of great help when we collected the keys for my accommodation. This was the start of a great collaboration and your enthusiasm for mirror training, with phrases like: “this is potential Nature work”, has helped the project to succeed. I am very happy that you were willing to take me ‘on board’. It was an absolute pleasure to be in Newcastle-upon-Tyne and I have learned a lot, neurophysiology wise but also my English has improved exceptionally. Thanks a lot for being such a great mentor!

Dr. Farthing, Dear Jon, it was great that you, as clinical expert, wanted to join the team. It is exceptional how you can manage everything with having five kids around you. I enjoyed the discussions we had via e-mail, Skype, and in person, which increased my understanding of cross-education and its clinical relevance in particular. It's unfortunate that you cannot attend my defence but hopefully we will meet again at some point. Take care and keep up the clinical work!

Dr. Zijdewind, Beste Inge, fijn dat je als copromotor vanaf de achtste verdieping een oogje in het zeil wilde houden. Je neurofysiologische kennis en constructieve feedback heb ik altijd zeer gewaardeerd. Bedankt hiervoor, je was een welkome aanvulling op het team.

Dr. Goodall and Dr. Thomas, Dear Stuart and Kevin, it was great to have you around me in and outside the lab. Without you it would have been impossible to conduct the mirror training study. You have made me feel part of 'Team Northumbria' with footy nights, visits to Newcastle United matches, and more. Thanks a lot for your kindness!

Dear members of Room NB431, it was an absolute pleasure to be surrounded by such a good bunch of people. I could not have wished a better atmosphere to work. The banter, social events, and serious discussions about work, it gave colour to my stay in the Toon. A big OOOOHOOOO to all of you in name of T-man, T-dawg, T-mong, T, or whatever you have named me!

Beste deelnemers aan mijn onderzoek, zonder jullie was mijn PhD gedoemd om te mislukken. Via deze weg wil ik jullie daarom nogmaals hartelijk bedanken voor jullie deelname. Vier keer komen opdraven voor een onderzoek is een hele opgave, maar ik ben blij dat jullie dit overhadden voor de wetenschap.

Alle medewerkers van het Medisch Centrum Zuid-Flytta, ontzettend bedankt dat ik bij jullie mijn voorste kruisband onderzoek mocht uitvoeren. De gemoedelijke sfeer en de oprechte interesse in mijn onderzoek hebben er voor gezorgd dat ik altijd met plezier mijn metingen kwam doen. In het bijzonder wil ik Alli Gokeler, Thierry Franke, en Jeroen IJmker bedanken voor jullie nauwe betrokkenheid en het draaiende houden van mijn onderzoek en Gertrudy Cruiming, als hoofverantwoordelijke, voor het inplannen van mijn patiënten en het beantwoorden van mijn eindeloze stroom aan e-mails.

Beste Jos van Raay en Reinoud Brouwer, bedankt dat ik gebruik mocht

maken van jullie orthopedische kennis en jullie database met voorste kruisband patiënten. Beide zijn van grote waarde geweest voor het laten slagen van mijn voorste kruisband studies.

Dan mijn Bachelor studenten: Adriaan Doornbos, Luuk Winkelhorst, Kirsten Koorenhof, Anne Elsinghorst, Lajenda van de Waardt, en Gijs van der Meiden. Heel erg bedankt voor jullie hulp bij het uitvoeren van het voorste kruisband onderzoek. Hopelijk is het voor jullie net zo'n leerzame periode geweest als voor mij.

De leescommissie bestaande uit Prof. dr. Duchateau, Prof. dr. Diercks, Prof. dr. Beek, hartelijk dank voor het beoordelen van mijn proefschrift.

Collega's van Bewegingswetenschappen, elke dag ging ik met plezier naar het werk en de gemoedelijke sfeer bij BW heeft hier een belangrijke bijdrage aan geleverd. Zelfs in mijn onbetaalde periode was ik niet weg te slaan van de afdeling, maar vanaf nu is mijn BW tijdperk echt voorbij. Wel hoop ik dat de 'plank challenge' dit jaar weer doorgang vindt, want ik kan natuurlijk niet eeuwig door het leven gaan als 'plank koning van BW'. Ik reken op een waardig opvolger! Bedankt voor de mooie tijd en keep up the good work!

PhD's van Bewegingswetenschappen, het was een eer om omringt te zijn door zo'n fantastische groep 'lotgenoten'. De gezamenlijk koffiepauzes, lunches, en uitjes waren een welkome afleiding. In het bijzonder wil ik mijn kamergenoten bedanken. Selma Papegaaij, Ludger van Dijk, Lisette Kikkert, Marika Leving, en Danique Vervoort, de discussies over werk, kleding, mijn fysiek, en André Hazes heb ik als zeer waardevol ervaren en zorgden tevens voor veel hilariteit. In naam van T.O.R.Q.U.E. Zult (Harjo de Poel: "goh, wat heb jij veel initialen voor je naam staan") wens ik jullie veel succes met het vervolg van jullie carrières!

Beste Marije van Dijk, Sander Spook, Bas Kluitenberg, en Jorijn Hornman, ons 'multidisciplinair overleg' op de woensdagmiddag brak altijd zo lekker de week. Dank hiervoor!

Beste Koen Huits, super gaaf dat jij de cover voor dit proefschrift hebt willen ontwerpen! Ik had niet gedacht dat de veelzijdigheid van de onderwerpen in dit proefschrift in één illustratie waren samen te vatten, maar jij hebt dit wel voor elkaar gekregen. Mijn dank ik groot!

Beste Laurens van Kouwenhove en Sander Spook, tof dat jullie "ja" hebben gezegd op het zijn van paranimf. Gezamenlijke liefhebbers van

koffie, bier, whisky, en een potje golf, dat scheidt een band! Het in goede banen leiden van mijn promotie durf ik wel aan jullie over te laten.

Lieve ouders en zusje, het was altijd fijn om even bij te tanken in het mooioie Almeloooo. Na een bezoek aan jullie kon ik er weer vol goede moed tegenaan. Bedankt voor jullie onvoorwaardelijke steun!

Nu de eindstreep is bereikt wordt het tijd voor een nieuw avontuur. Op naar een mooie toekomst!

Cheers, Tjerk

About the author

Tjerk Zult is a human movement scientist who was born on the 9th of November 1989 in Enschede, the Netherlands – the day that the Berlin wall fell. Tjerk studied Human Movement Sciences at the University of Groningen and obtained his BSc (Hons.) in 2011 and his MSc in 2013. He had a special interest in topics related to exercise physiology, neurophysiology, and (neuro)anatomy and followed the specialization ‘motor function and cognition in healthy ageing’. He performed an internship as part of his MSc at the Department of Sport, Exercise and Rehabilitation in Newcastle-upon-Tyne, United Kingdom. His MSc thesis was about the influence of augmented visual feedback on inter-limb mechanisms quantified by electrophysiological techniques such as transcranial magnetic stimulation and peripheral nerve stimulation. In addition, Tjerk managed to publish two literature reviews as first author during the MSc program. Following these achievements, he was successful in his application to begin a fully-funded PhD at the University Medical Center Groningen. His doctoral research addressed novel methods to accelerate the rehabilitation after unilateral injuries (e.g., anterior cruciate ligament rupture, wrist fracture) and neurological dysfunction (e.g., stroke, multiple sclerosis). Two of his papers won the Graduate School of Medical Sciences ‘Top Publication Award’ in 2016.



Tjerk is currently exploring the possibility to either continue as a post-doctoral researcher or to move towards product development.

List of publications

Zult T., Gokeler A., van Raay J.J.A.M., Brouwer R.W., Zijdwind I., Hortobágyi T. (2017). An anterior cruciate ligament injury does not affect the neuromuscular function of the non-injured leg except for dynamic balance and voluntary quadriceps activation. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 25:172-183.

Zult T., Goodall S., Thomas K., Solnik S., Hortobágyi T., Howatson G. (2016). Mirror training augments the cross-education of strength and affects inhibitory paths. *Medicine of Science in Sports and Exercise* 48:1001-1013.

Zult T., Goodall S., Thomas K., Hortobágyi T., Howatson G. (2015). Mirror illusion reduces motor cortical inhibition in the ipsilateral primary motor cortex during forceful unilateral muscle contractions. *Journal of Neurophysiology* 113:2262-2270.

Zult T., Howatson G., Kadar E.E., Farthing J.P., Hortobágyi T. (2014). Role of the mirror-neuron system in cross-education. *Sports Medicine* 44:159-178.

Howatson G., **Zult T.**, Farthing J.P., Zijdwind I., Hortobágyi T. (2013). Mirror training to augment cross-education during resistance training: a hypothesis. *Frontiers in Human Neuroscience* 7:396.

Invited talks

Zult T., Hortobágyi T. (2013). Mirror training to improve the cross-education of strength. *Northumbria University, Faculty of Health and Life Sciences, Department of Sport, Exercise and Rehabilitation, Newcastle-upon-Tyne, United Kingdom*

Conference presentations

Zult T., Gokeler A., van Raay J.J.A.M., Brouwer R.W., Hortobágyi T. (2016). Unilateral ACL injury does not affect neuromuscular function in the non-injured leg. (Thematic poster presentation) *63rd Annual Meeting of the American College of Sports Medicine (ACSM)*, Boston, USA.

Zult T., Goodall S., Thomas K., Solnik S., Hortobágyi T., Howatson G. (2015). Mirror training augments the cross-education of strength and reduces the contralateral silent period duration in the untrained but not the trained wrist. (Poster presentation) *45th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (SfN)*, Chicago, USA.

Howatson G., **Zult T.**, Goodall S., Thomas K., Hortobágyi T. (2014). Reduced cortical inhibition in the ipsilateral primary motor cortex induced by a mirror illusion during forceful contractions. (Oral Presentation) *British Association of Sport and Exercise Sciences (BASES) Conference*, Burton upon Trent, UK.

Zult T., Goodall S., Thomas K., Hortobágyi T., Howatson G. (2014). Unilateral strength training while mirror viewing the exercising hand, augments cross-education and reduces cortical inhibition and corticospinal excitability. (Poster presentation) *44th Annual Meeting of the Society for Neuroscience (SfN)*, Washington D.C., USA.

Zult T., Goodall S., Thomas K., Hortobágyi T., Howatson G. (2014). Mirror illusion reduces motor cortical inhibition in the ipsilateral primary motor cortex during effortful unilateral muscle contractions. (Oral presentation) *19th Annual Congress of the European College of Sport Science (ECSS)*, Amsterdam, the Netherlands.

Zult T., Goodall S., Thomas K., Hortobágyi T., Howatson G. (2014). Mirror illusion reduces motor cortical inhibition in the ipsilateral primary motor cortex during forceful unilateral contractions. (Oral presentation) *Vereniging voor Bewegingswetenschappen Nederland (VuBN) PhD-day*, Groningen, the Netherlands.

Zult T., Goodall S., Thomas K., Hortobágyi T., Howatson G. (2014). Mirror illusion reduces ipsilateral motor cortical inhibition in healthy young adults: implications for rehabilitation. (Poster presentation) *5th International state-of-the Art Congress, "Rehabilitation: Mobility, Exercise & Sport"*, Groningen, the Netherlands.

Zult T., Goodall S., Thomas K., Farthing J.P., Hortobágyi T., Howatson G. (2013). Mirror illusion reduces motor cortical inhibition in the ipsilateral primary motor cortex during effortful unilateral wrist flexion with shortening muscle contraction. (Oral presentation) *Vereniging voor Bewegingswetenschappen Nederland (VuBN) Student-day*, Amsterdam, the Netherlands.

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 internetsite: <http://www.share.umcg.nl/>

More recent theses can be found in the list below.

((co-) supervisors are between brackets)

2017

Uittenbroek RJ

Impact of person-centered and integrated care for community-living older adults on quality of care and service use and costs

(prof SA Reijneveld, prof HPH Kremer, dr K Wynia)

Folbert E

Geriatric traumatology; the effectiveness of integrated orthogeriatric treatment on 1-year outcome in frail elderly with hip fracture

(prof JPJ Slaets, prof HJ ten Duis, dr JH Hegeman)

Panman CMCR & Wiegersma M

Pelvic organ prolapse; conservative treatments in primary care

(prof MY Berger, dr JH Dekker)

Postema SG

Upper limb absence; effects on body functions and structures, musculoskeletal complaints and functional capacity

(prof CK van der Sluis, prof MF Reneman, dr RM Bongers)

Adrichem EJ van

Physical activity in recipients of solid organ transplantation

(prof CP van der Schans, prof PU Dijkstra, dr R Dekker)

Luten KA

Development and evaluation of a community-based approach to promote health-related behavior among older adults in a socioeconomically disadvantaged community

(prof A Dijkstra, prof SA Reijneveld, dr AF de Winter)

Setiawan D

HPV vaccination in Indonesia; a health-economic & comparative perspective

(prof MJ Postma, prof B Wilffert, dr JA Thobari)

Sluis A van der

Risk factors for injury in talented soccer and tennis players; a maturation-driven approach

(prof C Visscher, dr MT Elferink-Gemser, dr MS Brink)

Bouwman MEJ

A sad day's night; the dynamic role of sleep in the context of major depression.

(prof P de Jonge, prof AJ Oldehinkel)

Bakker M

Challenges in prenatal screening and diagnosis in the Netherlands

(prof CM Bilardo, dr E Birnie)

Annema-de Jong JH

What's on your mind? Emotions and perceptions of liver transplant candidates and recipients

(prof AV Ranchor, prof PF Roodbol, prof RJ Porte)

2016**Does HTJ van der**

Enhancing performance & preventing injuries in team sport players

(prof KAPM Lemmink, prof C Visscher, dr MS Brink)

Veldman K

Mental health from a life course perspective; the transition from school to work

(prof U Bültmann, prof SA Reijneveld)

Mafirakureva N

Health economics of blood transfusion in Zimbabwe

(prof MJ Postma, dr M van Hulst, dr S Khoza)

Mapako T

Risk modelling of transfusion transmissible infections

(prof MJ Postma, dr M van Hulst)

Heuvel M van den

Developmental and behavioral problems in pediatric care; early identification

(prof SA Reijneveld, dr DEMC Jansen, dr BCT Flapper)

Bonvanie IJ

Functional somatic symptoms in adolescence and young adults; personal vulnerabilities and external stressors

(prof JGM Rosmalen, prof AJ Oldehinkel, dr KAM Janssens)

Greeff JW de

Physically active academic lessons: effects on physical fitness and executive functions in primary school children

(prof C Visscher, prof RL Bosker, dr E Hartman, dr S Doolaard)

Dijk L van

The reality of practice; an action systems approach to serious gaming

(prof CK van der Sluis, dr RM Bongers)

For more 2016 and earlier theses visit our website

