

University of Groningen

## Functional relevance of eccentric strength maintenance with age during walking

Waanders, Jeroen

DOI:  
[10.33612/diss.168476990](https://doi.org/10.33612/diss.168476990)

**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):*  
Waanders, J. (2021). *Functional relevance of eccentric strength maintenance with age during walking*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. University of Groningen. <https://doi.org/10.33612/diss.168476990>

### 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

Muscle strength declines with age. Muscle weakness affects walking speed and the underlying joint mechanical outputs. Disproportionately slowed walking in old age predicts many clinical conditions. The relationship between leg muscle strength and walking performance is well-established for concentric (i.e., muscle shortening) or isometric (i.e., constant muscle length) function but is understudied for eccentric (i.e., muscle lengthening) function. This is surprising, as lengthening muscle contractions are also inherent to walking and humans mainly rely on lengthening contractions during descending gaits. In contrast to maximal voluntary concentric or isometric contractions, the age-related loss of maximal voluntary eccentric leg strength is two-fold less, i.e., relatively maintained. Thus, examining the relationship between eccentric leg muscle strength and walking performance in younger and older adults would enrich our current understanding of how aging affects human walking. Therefore, this thesis aimed to determine the functional effects of the age-related maintenance of eccentric knee extensor strength on walking speed and the underlying joint mechanical outputs. All experiments were cross-sectional in nature and conducted in younger (age 18-35) and older (age 65+) adults (**chapter 1**).

Although the maintenance of eccentric strength is a robust age-related finding, it is not entirely clear whether the maintenance magnitude differs by sex and muscle group. In **chapter 2**, we used isokinetic dynamometry to quantify the relative maintenance of knee extensor eccentric strength and found that its extent did not differ between older males and females. Additionally, in order to examine the relationship between muscle strength and walking speed, participants also negotiated stairs, ramps, and level ground at habitual and maximal speeds. The results showed that eccentric strength predicted walking speeds less accurately compared to concentric strength in younger and older adults, which we interpret as concentric strength being more of a limiting factor of walking speed than eccentric strength since eccentric strength is maintained with age.

In the experiments described in chapters 3-5, fixed walking speeds were used to eliminate the confounding effects of walking speed on muscle function. In **chapter 3**, we found the maintenance of eccentric strength with age again for the knee extensors but not for the ankle plantarflexors. We also examined whether eccentric strength maintenance is apparent in common multi-joint movements (i.e., walking) besides single-joint movements (i.e., dynamometry), across a range of walking speeds and surface slopes. In favor of this idea, we found that positive (i.e., concentric function) joint work was redistributed with age whereas negative (i.e., eccentric function) joint work was not. As the knee extensor negative work during walking and its maximal eccentric strength correlated positively, we argue that knee extensor negative work was preserved with age because this muscle group operated

well below its maximum available capacity, in part due to the maintenance of eccentric strength.

In **chapter 4**, we revealed that the preserved knee extensor negative work during early stance in elderly walking observed in chapter 3 is functionally relevant. We quantified hip, knee, and ankle moment effects on knee flexion deceleration, which helps to decelerate the center of mass in order to prevent limb collapse, during level and decline walking. We observed that age did not affect the inter-joint moment strategy to control knee flexion movement, with the knee extensor moment as the main decelerator of knee flexion during decline walking. We concluded that eccentric strength maintenance is important to preserve the joint moment strategy that controls knee flexion during walking.

The age-related reconfiguration of joint work during walking found in chapter 3 may be in part due to changes in muscle activation. In **chapter 5**, we examined whether age affects the relationship between joint work and muscle activation during ramp ascent and descent. The results showed that age did not affect this relationship for either positive or negative work, in spite of age-related differences in joint work observed. Therefore, we suggested that the electromechanical cost (work/agonist activation) does not reinforce the reconfiguration of joint work with age.

**Chapter 6** presents an integrated discussion of our main findings. The findings suggest that eccentric strength maintenance with age is also apparent in common multi-joint movements besides single-joint movements. Moreover, the age-related maintenance of eccentric strength is functionally relevant in older adult walking at the joint level and we argue this is also true at the gross motor level (i.e., walking speed). The latter should be further examined in older adults weaker than the older sample in this thesis. As eccentric strength maintenance seems to arise naturally with aging, we recommend to emphasize concentric muscle action over eccentric muscle action in resistance training for healthy older adults.

---

## Samenvatting

Spierkracht neemt af tijdens veroudering. Dit spierkrachtsverlies beïnvloedt loopsnelheid en de mechanische uitvoer van de onderliggende gewrichten. Een disproportioneel langzamere gang op hogere leeftijd voorspelt meerdere klinische aandoeningen. De relatie tussen beenspierkracht en loopprestatie is goed gedocumenteerd voor concentrische (i.e., spierverkorting) of isometrische (i.e., constante spierlengte) functie, maar is onderbelicht voor excentrische (i.e., spierverlenging) functie. Dit is verrassend, aangezien verlengende spiercontracties ook inherent aan lopen zijn en mensen met name vertrouwen op verlengende spiercontracties tijdens neerwaartse looptaken. In tegenstelling tot maximale, willekeurige concentrische of isometrische contracties is het leeftijdsgerelateerde spierkrachtverlies van excentrische contracties twee keer zo klein, oftewel relatief behouden. Dus, het onderzoeken van de relatie tussen excentrische beenspierkracht en loopprestatie in jongere en oudere volwassenen zou ons huidige begrip van hoe veroudering menselijk lopen beïnvloed verrijken. Daarom richtte dit proefschrift zich op het bepalen van de functionele effecten van het leeftijdsgerelateerde behoud van excentrische knie extensor kracht op loopsnelheid en de onderliggende mechanische uitvoer van gewrichten. Alle experimenten waren cross-sectioneel van opzet en uitgevoerd onder jongere (18-35 jaar) en oudere (65+) volwassenen (**hoofdstuk 1**).

Hoewel het behoud van excentrische kracht een robuust, leeftijdsgerelateerde vondst is, is het niet geheel duidelijk of de mate van behoud verschilt per sekse en spiergroep. In **hoofdstuk 2**, pasten we daarom isokinetische dynamometrie toe om het relatieve behoud van excentrische knie extensor kracht te kwantificeren en vonden dat haar mate niet verschilde tussen oudere mannen en vrouwen. Verder, om de relatie tussen spierkracht en loopsnelheid te onderzoeken, liepen deelnemers ook op trappen, hellingen, en een vlakke ondergrond op een gewoonlijke én maximale snelheid. De resultaten lieten zien dat excentrische spierkracht loopsnelheden minder accuraat voorspelden in vergelijking tot concentrische spierkracht onder jongere en oudere volwassenen. Deze bevinding interpretererden we als dat concentrische spierkracht een meer beperkende factor voor loopsnelheid is dan excentrische spierkracht, omdat excentrische spierkracht relatief behouden blijft tijdens veroudering.

In de experimenten beschreven in hoofdstukken 3-5 werden vaste loopsnelheden gebruikt om het effect van loopsnelheid op spierfunctie te elimineren. In **hoofdstuk 3** vonden we het leeftijdsgerelateerde behoud van excentrische kracht weer voor de knie extensoren maar niet voor de enkel plantairflexoren. We onderzochten ook of excentrisch krachtbehoud aanwezig is tijdens gewoonlijke multi-gewrichtsbewegingen (i.e., lopen) naast uni-gewrichtsbewegingen (i.e., dynamometrie), over een bereik van loopsnelheden en

hellingsgraden. Overeenkomstig met dit idee vonden we dat positieve (i.e., concentrische functie) gewrichtsarbeid herverdeeld was op hogere leeftijd, terwijl dit niet het geval was voor negatieve (i.e., excentrische functie) gewrichtsarbeid. Aangezien de negatieve knie extensor Arbeid tijdens lopen en maximale excentrische kracht positief correleerden, stellen we dat de negatieve knie extensor Arbeid behouden bleef met toenemende leeftijd omdat deze spiergroep ruim onder haar maximale beschikbare capaciteit opereerde, gedeeltelijk door het behoud van excentrische kracht.

In **hoofdstuk 4** demonstreerden we dat de behouden negatieve knie extensor Arbeid tijdens de vroege standfase in ouderengang gevonden in hoofdstuk 3 functioneel relevant is. We kwantificeerden heup, knie, en enkel moment effecten op knie flexie vertraging, wat helpt om het lichaamszwaartepunt te vertragen om ineensstorting van het lichaam te voorkomen, tijdens gelijkvloers en helling aflopen. We observeerden dat leeftijd niet de inter-gewricht momentenstrategie om knie flexie te controleren beïnvloedde, en dat het knie extensie moment de voornaamste afremmer van knie flexie tijdens helling aflopen was. We concludeerden dat excentrisch krachtbehoud belangrijk is om de gewrichtsmomenten strategie die knie flexie controleert tijdens lopen te behouden.

De leeftijdsgerelateerde herverdeling van gewrichtsarbeid tijdens lopen gevonden in hoofdstuk 3 komt waarschijnlijk gedeeltelijk door veranderingen in spieractivatie. In **hoofdstuk 5** onderzochten we of leeftijd de relatie tussen gewrichtsarbeid en spieractivatie tijdens helling op en aflopen beïnvloed. De resultaten lieten zien dat leeftijd deze relatie zowel voor positieve als negatieve Arbeid niet beïnvloedde, ondanks leeftijdsgerelateerde verschillen in gewrichtsarbeid. Daarom suggereerden we dat de electromechanische prijs (arbeid/agonist spieractivatie) de leeftijdsgerelateerde herverdeling van gewrichtsarbeid niet versterkt.

**Hoofdstuk 6** presenteert een geïntegreerde discussie van onze voornaamste bevindingen. De bevindingen suggereren dat het leeftijdsgerelateerde fenomeen van excentrisch krachtbehoud naast enkelvoudige gewrichtsbewegingen ook aanwezig is tijdens alledaagse, meervoudige gewrichtsbewegingen. Bovendien is het leeftijdsgerelateerde behoud van excentrische kracht functioneel relevant in ouderengang op gewrichtsniveau en we stellen dat dit ook zo is op grove motorische niveau (i.e., loopsnelheid). Laatstgenoemde zal verder onderzocht moeten worden in ouderen die zwakker zijn dan de ouderen onderzocht in dit proefschrift. Aangezien excentrisch krachtbehoud een natuurlijk verouderingsfenomeen lijkt zijn, bevelen we aan de nadruk te leggen op concentrische spieractie in vergelijking tot excentrische spieractie tijdens krachttraining voor gezonde ouderen.

---

## Dankwoord

In 2011 verhuisde ik naar Groningen om bewegingswetenschappen te gaan studeren. Nu, grofweg 10 jaar later, rond ik deze periode af met een proefschrift. Bij deze wil ik graag de mensen bedanken die mij direct of indirect hebben ondersteund in de totstandkoming van dit proefschrift.

**Prof. dr. Tibor Hortobágyi**, you were the one who planted the idea in my head during the Summer of 2014 to potentially aim for the MS-PhD trajectory. At that time, I was assisting Selma during one of her experiments. You also helped me to conduct one of my experiments overseas in the United States, which was a tremendous experience for me. Thanks for this, and for being always available for guidance, trying to let me see ‘the bigger picture’ and for your very fast replies to anything I sent you throughout the years.

**Dr. Alessio Murgia**, we started to meet more frequently along the way, and not only because I started to teach later on. I always much appreciated the (sometimes long, because my sentences were long) meetings we had, in which you showed great patience with me and gave me advice about writing, teaching, logical thinking, and books to read. I enjoyed reading ‘The Story of Art’. Thank you.

**Dr. Jason Franz**, thank you for having me in Chapel Hill. You really did your best to make me feel at home, which I am very grateful for. I learned a lot as a member of your lab, both on a professional and personal level. I am glad we were able to see each other again in person at conferences afterwards. I highly appreciated your positive attitude and very constructive feedback on each manuscript draft we worked on together.

**Dr. Chantal Beijersbergen** and **dr. Paul DeVita**, co-authors, I enjoyed working with you and your valuable input throughout the study design and writing process. Thank you for that. **Chantal**, ook bedankt voor jouw hulp in aanloop naar en tijdens de metingen en data analyse van mijn eerste studie.

**Members of the reading committee**, thank you for investing your valuable time in reading and assessing my thesis. **Members of the promotion committee**, thank you for reading the thesis and attending the PhD ceremony.

Graag wil ik ook de **deelnemers aan mijn onderzoek** bedanken voor het vrijmaken van jullie tijd om ‘gewoon’ een steentje bij te dragen aan wetenschappelijk onderzoek. Mijn dank gaat tevens uit naar **Lukas, Sjoerd, David** en **Marit**, voor jullie assistentie tijdens de metingen in Groningen. Also a big thank you to **Daniel, Alex, Brianna** and **Hannah**, for your assistance during the measurements in Chapel Hill and Raleigh. I very much enjoyed working with you all. **Wim, Emyl, Dirk**, en **Anniek**, bedankt voor jullie technische ondersteuning en prettige samenwerking. **Emyl**, moge de helling nog vaker worden gebruikt!

Ook wil ik graag mijn **collega PhD’ers van BW** bedanken voor de gezellige koffie- en lunchpauzes, uitjes, borrels, en congresbezoeken. Het was prettig met jullie op één gang te

zitten. Kantoorgenoten van 214, **Lianne, Kelly, Menno, Reinder** en **Martijn**, tevens bedankt voor de prettige en gezellige werksfeer.

Tar! **Members of the Applied Biomechanics Lab at UNC Chapel Hill, Michael, Jessica, Billy, Katie, Mu, Jackson** and **Randall**, thanks to you I really felt part of the group during my stay. I will surely remember the great time I had with you in the office (without windows) and outside office hours, and remember your help with my experiment. It was nice to see each other again at later conferences. Thanks so much!

**Boegbeelden**, wo sind die Hände!? Wat begon met een ploma, is uitgemonnd in een mooie vriendschap. We wonen nu verspreid over het land wonen, maar ik ben blij dat we elkaar nog blijven zien. Bedankt voor de talloze ploma's, weekendjes weg en fietsvakanties. Hopelijk volgen er nog vele.

Graag bedank ik ook mijn vriendengroep van de opleiding. **Pimpampet**, ook wij zitten nu verspreid over het land, maar het is altijd fijn jullie weer te zien. Ik kijk uit naar de volgende barbecue! **Maarten-Jan** en **Jaroen**, de kopjes koffie op de faculteit en thuis, soms zelfs onder het genot van een potje Catan en chocola, waren een welkome afleiding van werk. **Jurian** en **Frank**, Huize Sol, wat was het fijn om met jullie samen te wonen. Ik kijk met een warm gevoel terug op de momenten van zombies knallen, spelletjesavond en samen eten en drinken.

**Maik**, onze vriendschap gaat het verste terug. Van voetballen en samen uit, tot mtb'en en biertjes op het terras. Hier ben ik zeker dankbaar voor. Nu ik weer in Twente woon is het gelukkig wat makkelijker om elkaar weer te zien.

**Familie Blankhorst: Henry, Rita, Dewy, Sjoerd** en **Pauline**, ik ben dankbaar voor dat wij het goed met elkaar kunnen vinden. Het lekkere eten en drinken en kaartavonden doen me altijd goed.

**Peter, Joke, Thijs** en **Suzanne**, ik kan me geen betere vader, moeder, broer en zusje wensen. Pap en mam, bedankt voor jullie onvoorwaardelijke steun en liefde. Thijs en Suzanne, ik ben erg dankbaar voor dat wij het goed met elkaar kunnen vinden. Geweldig dat jullie mij allemaal hebben opgezocht in Amerika.

**Tamar**, op het moment van schrijven zitten we fijntjes met z'n twee in een chalet. Samen hebben wij vijf jaar een onderlinge afstand van 200 km en negen maanden een afstand van 6650 km doorstaan. Ik bewonder jouw geduld, inlevingsvermogen, en daadkracht. Jij hebt me al die tijd geweldig ondersteund. Ik hou van je.

Jeroen



---

## About the author

Jeroen Waanders was born on December 13th, 1992 in Hengelo (O) and raised in Goor, the Netherlands. In 2011, he received his diploma (VWO) from secondary school De Waardenborch in Holten and moved to Groningen to study Human Movement Sciences at the University of Groningen. There, he obtained his bachelor's degree in 2014 and his master's degree in 2016, while being an active committee member at the study association *Studiosi Mobilae*. Also, Jeroen got intrigued by performing research. His first scientific paper got published during his master's and he



he successfully aimed for the ambitious MS-PhD trajectory, which allowed him to continue his work. Early in his PhD, Jeroen went abroad for a nine months visit to Dr. Jason Franz's lab at the University of North Carolina at Chapel Hill, USA, to conduct one of his experiments there and at North Carolina State University in Raleigh. One of Jeroen's papers received the Top Publication Award from the Graduate School of Medical Sciences.

During his PhD, Jeroen also acted as a PhD representative within the Center of Human Movement Sciences, and was in that capacity a member of the Research Committee and Advisory Board. Additionally, he participated in various teaching activities such as lecturing, supervising students, and organizing lab demonstrations. Currently, Jeroen continues his educational career as a teacher within the Nursery program at Saxion University of Applied Sciences in Enschede.

## Journal publications

**Waanders JB**, Beijersbergen C, Murgia A, Hortobágyi T. (2016) Functional relevance of relative maintenance of maximal eccentric quadriceps torque in healthy old adults. *Gerontology*, 62(6), 588-596.

**Waanders JB**, Hortobágyi T, Murgia A, DeVita P, & Franz JR. (2019) Advanced age redistributes positive but not negative leg joint work during walking. *Medicine and science in sports and exercise*, 51(4), 615.

**Waanders JB**, Murgia A, Hortobágyi T, DeVita P, Franz JR. (2020) How age and surface inclination affect joint moment strategies to accelerate and decelerate individual leg joints during walking. *Journal of biomechanics*, 98, 109440.

## Conference contributions

Williams A\*, Clark WH, **Waanders JB**, Franz JR, Blemker S. A 3D computational model to simulate 2D ultrasound measurements of medial gastrocnemius architecture. 44<sup>th</sup> Annual Meeting of the American Society of Biomechanics, 4-7 August 2020, Atlanta, Georgia, United States. *Poster presentation*

**Waanders JB\***, Murgia A, Hortobágyi T, DeVita P, Franz JR. Ankle moment effects on hip joint angular accelerations during walking in healthy young and older adults. XXVII Congress of the International Society of Biomechanics & 43<sup>rd</sup> Annual Meeting of the American Society of Biomechanics, 31 July-4 August 2019, Calgary, Canada. *Oral presentation*

**Waanders JB\***, Hortobágyi T, Murgia A, DeVita P, Franz JR. Using induced acceleration to study the effects of age and grade on the joint moment strategy to control knee flexion during weight acceptance in walking. International Society for Posture and Gait Research World Congress, 30 June-4 July 2019, Edinburgh, Scotland. *Poster presentation*

**Waanders JB\***, Hortobágyi T, Murgia A, DeVita P, Franz JR. The age-related increase in hip flexor work during walking is not related to a lower plantarflexion moment. Dutch Society for Human Movement Sciences (VvBN) PhD-Day, 30 November 2018, Amsterdam, the Netherlands. *Poster presentation*

**Waanders JB\***, Murgia A, Hortobágyi T, DeVita P, Franz JR. Quantification of lower-extremity moment-induced joint acceleration during walking. 16<sup>th</sup> annual conference of the Society for Human Movement Laboratories in the Low Lands, 22-23 November 2018, Groningen, the Netherlands. *Poster presentation*

**Waanders JB\***, Hortobágyi T, Murgia A, DeVita P, Franz JR. The distal-to-proximal shift of muscle function during walking in old age is absent for negative work. 8<sup>th</sup> World Congress of Biomechanics, 8-12 July 2018, Dublin, Ireland. *Oral presentation*

Hortobágyi T\*, **Waanders JB**. Effects of age and training on gait biomechanics: Should and do old adults stride for a young gait? XXVI National Conference of Sports Traumatology and Spanish Society of Medicine of Sports, 8-9 March 2018, Murcia, Spain. *Oral presentation*

\*Presenting Author

---

## 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

#### **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 Maevkelberghe*)

#### **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*)

#### **Habtewold TD**

Data-driven subphenotypic dissection of the clinical heterogeneity of schizophrenia spectrum disorders  
(*prof HM Boezen, prof R Bruggeman, dr BZ Alizadeh, dr EJ Liemburg*)

#### **Ferdiana A**

Quality of life, work, and social participation among individuals with spinal cord injury  
(*prof U Bültmann, prof JIL van der Klink, prof MWM Post*)

#### **Tuvdenjorj A**

Economic evaluation of tobacco control in Asia; dynamic population health impact assessment in Mongolia  
(*prof E Buskens, prof TL Feenstra*)

#### **Nanninga CS**

Home & place making after stroke; exploring the gap between rehabilitation and living environment  
(*prof K Postema, prof LB Meijering, dr AT Lettinga, dr MC Schönherr*)

06.01.2021 EXPAND

**2020****Wassink-Vossen S**

Physical activity and functional recovery in late-life depression  
(*prof RC Oude Voshaar, dr P Naarding, dr R Collard*)

**Hovenkamp-Hermelink A**

The long-term course of anxiety disorders; an epidemiological perspective  
(*prof RA Schoevers, dr H Riese, dr B Jeronimus*)

**Moazzen S**

Nutrients and diet quality in gastrointestinal cancers  
(*prof GH de Bock, dr BZ Alizadeh*)

**Poonsiri J**

Exploring cycling and sports in people with a lower limb amputation: prosthetic aspects  
(*prof JHB Geertzen, prof PU Dijkstra, prof R Dekker, dr JM Hijmans*)

**Rausch CP**

Geriatric syndromes prevalence: associated factors and outcomes  
(*prof U Bültmann, prof SEJA de Rooij, prof L Laflamme, dr J Möller*)

**Shahabeddin Parizi A**

Self-reported health status after solid-organ transplantation  
(*prof PFM Krabbe, prof SJL Bakker, prof E Buskens, dr KM Vermeulen*)

**Vervoort D**

Adaptability of gait and balance across the adult lifespan  
(*dr CJC Lamoth, prof T Hortobagyi, dr N Vuillerme, dr AR den Otter*)

**Munck L de**

Breast cancer: screening, stage and outcome; studies based on the Netherlands Cancer Registry  
(*prof GH de Bock, prof S Siesling*)

**Wijnen A**

Rehabilitation policies following total hip arthroplasty; across borders  
(*prof SK Bulstra, prof D Lazovic, dr M Stevens*)

**Spinder N**

Maternal occupational exposure and congenital anomalies  
(*prof HM Boezen, prof H Kromhout, dr HEK de Walle, dr JEH van Kammen-Bergman*)

For earlier theses visit our website